

D. Kulišić*

OPĆE ZNAČAJKE POJAVA SAMOZAGRIJAVANJA I SAMOZAPALJENJA TVARI (III. DIO)

UDK 614.835
PRIMLJENO: 23.8.2005.
PRIHVACENO: 15.2.2006.

SAŽETAK: Radom su predočeni rezultati sustavne kritičke raščlambe vrsta i obilježja samo općih (zajedničkih) čimbenika vrlo složenih (uzajamno isprepletenih i na mnoge načine međuovisnih) fizikalnih, bioloških i/ili kemijskih te termodinamskih mehanizama iniciranja i razvoja procesa samozagrijavanja i nastanka samozapaljenja u cijelom nizu tomu sklonih tvari. Dobiveni su pomnom raščlambom i prisposobom sadržaja niza dostupnih suvremenih znanstvenih i stručnih referenci, koje s teoretskog i/ili praktičnog motrišta tretiraju cjelinu ili neke posebne aspekte ovih pojava, u skladu s tradicionalnim i suvremenim iskustvima i spoznajama iz inozemne i hrvatske proizvodne, skladišne, transportne, distribucijske i upravnonadzorne (inspekcijske) prakse sprečavanja nastanka materijalnih šteta i inih gubitaka, zbog smanjenja kakvoće proizvoda ili nastanka požara i eventualnih eksplozija. Kakvoći raščlambe su posebno pridonijela vrlo bogata iskustva s motrišta hrvatske i inozemne kriminalističke, forenzične, osiguravateljske, interne industrijske/kompanijske i ine istraživačke prakse mnogobrojnih slučajeva požara i nekih eksplozija uzrokovanih takvim pojavama. Prikazane su i neke mogućnosti primjene te prednosti i nedostaci teoretske i poluempirijske raščlambe kritičnih parametara samozagrijavanja izvorno zasnovanih na Frank-Kamenetskijevom teoretskom modelu i nešto novijoj «metodi točke prijelaza». Na kraju je dan i pogodan pregled za brzu preliminarnu identifikaciju skupina i vrsta tvari ili tvoriva (materijala) poznatih po sklonosti procesu samozagrijavanja i samozapaljenja, uz naznake stanovitih ključnih propusta koji općenito i/ili specifično pogoduju nastanku takvih procesa.

Ključne riječi: požar, samozagrijavanje, samozapaljenje, požarno opasni egzotermni procesi i operacije, samooksidacija, obilježja samozagrijavanja, obilježja samozapaljenja, čimbenici utjecaja, pirofornost tvari, Frank-Kamenetskijev teoretski model raščlambe, «metoda točke prijelaza», prednosti i nedostaci «F-K modela», pregled tvari sklonih samozagrijavanju i samozapaljenju, prevencija samozagrijavanja i samozapaljenja, istraživanje uzroka požara

OPĆI ČIMBENICI KOJI POVOLJNO UTJEČU NA PROCES «TIHE OKSIDACIJE»

Može se reći kako je broj čimbenika koji, u većoj ili manjoj mjeri, mogu povoljno utjecati na proces «tihe oksidacije» ili samooksidacije, u pojedinih vrsta takvim procesima sklonih tvari zaista mnogobrojan. Općenito gledajući, takvi povoljni čimbenici su:

* Mr. sc. Damir Kulišić, dipl. ing. kemije, Policijska akademija MUP-a RH, Visoka policijska škola, Av. Gojka Šuška 1, 10000 Zagreb. Autor je viši predavač na Visokoj policijskoj školi MUP-a RH, kao vanjski suradnik na sveučilišnom studiju «Sigurnost i zaštita od požara i eksplozija» na Fakultetu kemijskog inženjerstva i tehnologije (1987. – 1998. g.), u Zagrebu, a od 2003. g. i na obnovljenom istovrsnom stručnom studiju «Sigurnost i zaštita» na Veleučilištu u Karlovcu. Članom International Association of Arson Investigators (IAAI), postao je 2002. g.

1. Narav same tvari:
 - sklonost procesu oksidacije;
 - sklonost procesu egzotermnog kemijskog razlaganja (raspadanja);
 - sklonost paralelnom i/ili sukcesivnom procesu egzotermne polimerizacije;
 - sklonost biološkim i/ili inim prije navedenim egzotermnim kemijskim procesima;
 - osjetljivost na djelovanje nekih fizikalnih procesa (trenje, stlačivanje, udaranje i sl.).
 2. Odgovarajuća (povišena)¹ temperatura i (obično povećana, ali u nekih vrsta tvari može biti čak i premala ili nedovoljna) vlažnost² tvari.
 3. Prisutnost i dovoljno snažan poticajni utjecaj nekog izvana djelujućeg ili u dodiru/u masu tvari unesenog izvora topline.
 4. Povećana površina dodira tvari s kisikom iz zraka (porozni, vlaknasti, sitnozrnati i praškasti materijali ili, pod utjecajem topline fino ispucali, sitniji ili krupniji komadi rasušenih i karboniziranih materijala celuloznog podrijetla).³
 5. Veća sposobnost tvari da na površini adsorbiraju (tj. površinski vežu) ili u sebe apsorbiraju (tj. u svoj obujam upiju) plinove i kisik iz zraka.
 6. Mogućnost dovoljno brzog penetriranja (prirodnim strujanjem dovoljno brzog dotjecanja i difundiranja) i dopiranja svježeg zraka (tj. kisika iz zraka) do površina čestica, komadića, komada ili vlaknastih struktura tvari sklonih samooksidaciji.⁴
 7. Sporije oslobađanje (gubljenje) topline u okolinu i postupno stalno povećavanje temperature reakcijske površine ili dijela mase reagirajuće tvari (posebno olakšano u velikim i dovoljno zbijenijim – ali ne prezbijenim – naslagama, gomilama ili hrpama takvih tvari unutar kojih je provjetravanje zbog odvođenja topline posve onemogućeno, zanemarivo, nedovoljno ili vođeno pod neodgovarajućim uvjetima temperature i vlažnosti zraka).
 8. Povećana koncentracija kisika ili druge oksidacijski egzotermno reagirajuće tvari.⁵
 9. Povećan sadržaj nezasićenih masnih kiselina u sklopu eventualno sadržavajućih masti ili ulja, odnosno povećan sadržaj nezasićenih masti/ulja u tvarima.
 10. Prisutnost i utjecaj katalizatora oksidacije ili katalizatora inog egzotermnog kemijskog, mikrobiološkog i/ili fizikalnog procesa.
 11. Neprisutnost ili izostanak preventivnog utjecaja eventualno predviđenih antikatalizatora samooksidacije, antikatalizatora inog štetnog spontanog egzotermnog kemijskog i/ili fizikalnog procesa ili antikatalizatora zapaljenja i izgaranja.⁶
 12. Prisutnost «*piroformnih tvari*» (npr. «*piroformnog željeza*» tj. *željezovih sulfida*: FeS, FeS₂, Fe₂S₃ i Fe₃S₄ ili prirodnog minerala «*pirita*», tj. *željezovog disulfida*: FeS₂) u sklopu tvari (npr. u biljnoj stočnoj hrani, ugljenu).⁷
 13. Lokalno povišen tlak zraka (time i kisika) ili inog plinovitog oksidansa u atmosferi oko gorive tvari.
 14. Veći sadržaj hlapljivih (isparljivih) organskih tvari sklonih autooksidaciji (npr. kod ugljena).
 15. Odgovarajuća (dovoljno povišena) temperatura i relativna vlažnost okolnog zraka/lokalne atmosfere (ambijenta).
 16. Neodgovarajući način skladištenja i prevelika količina uskladištene tvari (prevelika veličina, za provjetravanje nedovoljan razmak i nepovoljna geometrija slogova, naslaga, hrpa ili gomila – vidi *slike 8 i 10* i primjer utjecaja *debljine sloja tvari na slici 11*).
- Kada se uzmu u obzir svi relevantni opći i svi možebitno relevantni posebni čimbenici koji mogu potaknuti pojave i pridonijeti pojavama razvoja *samooksidacije* i/ili inih (sukcesivnih i paralelnih) egzotermnih promjena tvari sklonih samozagrijavanju i samozapaljenju, postaje razvidno kako plan pristupa, program, taktika i tehničke provedbe sustavnog, temeljitog i znalački (stručno), korak po korak, vođenog kriminalističkog očevida požara moraju biti unaprijed dobro promišljeni i pripremljeni.

To je posebno važno i korisno u svim slučajevima tehnološki i procesno složenijih industrijskih pogona za preradu i/ili (privremenu) pohranu takvih vrsta tvari. Samo takav pristup može osigurati cjelovito sagledavanje, pronalazak i pouzdano osigura(va)nje relevantnih materijalnih tragova i inih forenzično i kriminalistički potencijalno relevantnih informacija i podataka (indicija) o svim možebitno važnim utjecajima i djelovanjima prije pobrojanih i obrazloženih čimbenika i njihovih parametara. Navedeno, uz kasniji kriminalistički operativni i forenzični (laboratorijski) rad na prikupljanju očevidom nedostupnih/neutvrdivih informacija i podataka i na provjeravanju njihove logičke/znanstveno dokazive kompatibilnosti s onima raspoloživim iz stadija očevida mjesta događaja, jedino su jamstvo dobrih izgleda vjerodostojnog i pouzdanog rješavanja svih pitanja *uzroka, uvjeta, okolnosti i načina* nastanka požara tvari sklonih samozagrijavanju i samozapaljenju. Otuda i dobivanja pouzdanih odgovora na sva «*zlatna*» pitanja kriminalistike.

SKUPINE TVARI SKLONIH EGZOTERMNIM PROMJENAMA TE SAMOZAGRIJAVANJU I SAMOZAPALJENJU

Sve tvari poznate po stanovitoj sklonosti požarno (i eksplozijski) neizravno opasnim mikrobiološkim egzotermnim promjenama, po izravno opasnoj vrlo egzotermnoj kemijskoj nestabilnosti, odnosno po izravno opasnoj samooksidaciji i eventualnoj spontanoj polimerizaciji te po sklonosti samozagrijavanju i samozapaljenju, mogu se grubo razvrstati u pet osnovnih skupina:

1. **tvari biljnog podrijetla** (vegetabilne tvari) koje se ne razvrstavaju u uljarice,
2. **ugljen i svježa čada,**
3. **tvari prirodno bogate, natopljene ili zamašćene sušivim i polusušivim mastima i uljima,**

4. **kemijski nestabilne** (lako reagirajuće, tzv. «*reaktivne*») **kemijske tvari** (stanovite *čiste homogene tvari*, stanovite *homogene* ili stanovite *heterogene smjese tvari* u slučaju dodira sa stanovitim kemijski inkompatibilnim plinovitim ili kapljevitim medijima i/ili s inim kemijski inkompatibilnim čvrstim tvarima, o kojima će biti riječi u budućim posebnim radovima ovog autora) te

5. stanovita kemijski relativno vrlo stabilna (vrlo slabo reagirajuća, tzv. «*nereaktivna*») **tvoriva** ili **proizvodi** u obliku pojedinih vrsta *homogenih* ili *heterogenih smjesa netaljivih* ili *teškotaljivih tvari*, s dovoljno visokim sadržajem/udjelom tvari prirodnog ili umjetnog organskog/uglijikovodičnog podrijetla – samo u slučaju:

- zagrijanosti na dovoljno visoku temperaturu ili
- dovoljno dugotrajne izloženosti dovoljno povišenim temperaturama,
- dovoljno dobre toplinske izoliranosti unutarnjih dijelova mase, ali – ujedno – i
- dovoljne poroznosti i permeabilnosti strukture mase, uz – istodobno
- dovoljno dugotrajnu izloženost zraku (*kisiku* iz zraka).

Za potrebe preliminarnog preventivskog sagledavanja prisutnih opasnosti od nastanka mogućih šteta ili požara uzrokovanih samozagrijavanjem, odnosno za potrebe kriminalističkog, osiguravateljskog ili inog istraživanja, tj. za opravdano uzimanje u obzir (te za forenzično provjeravanje i razmatranje) ujedno i hipoteze o možebitnom samozagrijavanju i samozapaljenju kao *uzroku* požara i/ili eksplozije, u nastavku je dan pogodan kratki abecedni pregled niza tvari sklonih takvim pojavama, uz neka vrlo korisna iskustva i napomene (Tablica 1).

Tablica 1. Pregled skupina i vrsta tvari poznatih po sklonosti procesu samozagrijavanja i samozapaljenja i stanovitih požarno opasnih preventivskih propusta/istražiteljski ključnih polaznih indicija⁸

Table 1. Groups and types of substances prone to self-heating and self-combustion, and certain omissions in fire prevention/key study indicators

Tvar	Sklonost procesu samozagrijavanja	Uobičajen način pakiranja za prijevoz ili način skladištenja	Neki ključni propusti koji pogoduju nastanku procesa samozagrijavanja	Napomene
boje sa sadržajem sušivih ulja	<i>umjerena</i>	bačve, limenke, staklenke	neprijemčeno ili olako zanemareno curenje iz posuda po krpama, pamučnom materijalu ili po inim vlaknastim ili poroznim gorivim materijalima	Pojave samozagrijavanja krpa i inih gorivih poroznih materijala impregniranih takvim bojama, koje još sadrže i dodatke za ubrzavanje sušenja, su iznimno požarno opasne. ⁹
boje, otpaci nakon bojanja ¹⁰	<i>umjerena</i>	bačve, kontejneri	odlaganje u prevelikim i nedovoljno provjetranim hrpama	Sklonost samozagrijavanju ovisi o stupnju osušenosti otpadaka.
boje, uljane	<i>velika</i>	bačve, limenke, staklenke	neprijemčeno ili olako zanemareno curenje iz posuda po krpama, pamučnom materijalu ili po inim vlaknastim ili poroznim gorivim materijalima	Može biti požarno vrlo opasno ako dođe do impregniranja spomenutih dobro upijajućih gorivih materijala ovim bojama.
brašno jezgri tung oraščića	<i>velika</i>	papirnatih vreće, u rasutom stanju	propusti pri proizvodnji ili nepotpuno hlađenje prije skladištenja	Brašno sadrži ostatke ulja koje je vrlo sklono samozagrijavanju. Presušeno brašno je također sklono tom procesu.
brašno, koštano	<i>različita</i>	u rasutom stanju	prevelika suhoća ili vlažnost tvari ili pakiranje/skladištenje još vrućeg materijala ¹¹	Prekomjerno vlažan ili suh materijal se često samozagrijava. Sklonost tomu je veća ako se tvar prije dobro ne ohladi.
brašno, kukuruzno (kao krmivo)	<i>velika</i>	vreće od prirodnih vlakana ili od čvrstog papira	propusti u kontroli vlage ili u sušenju pri preradi, prije skladištenja	Sadrži značajne količine ulja prilično jake sklonosti samozagrijavanju.
brašno, riblje	<i>velika</i>	vreće, u rasutom stanju	propusti u održavanju sigurnosno optimalne razine vlažnosti (6 – 12% vlažnosti) i u izbjegavanju izlaganju toplini	Posebno je sklono samozagrijavanju ako je presušeno i pakirano zagrijano na temperaturu iznad 38 °C.
celuloidni svitci (starih vrsta materijala negativna) filmova ¹²	<i>vrlo slaba</i>	metalne, plastične, drvene ili kartonske kutije	neodgovarajuće kemijsko stabiliziranje celulozida (niskonitrirane nitroceluloze) od spontanog egzotermnog kemijskog razlaganja i samozagrijavanja	Do samozapaljenja može doći i pri normalnim temperaturama. Mnogo veća opasnost prijeto od djelovanja iskri i plamena.

čada (pigment za polimerne mase i boje)	vrlo slaba	drvene kutije	propusti u izbjegavanju vlažnosti i držanje na toplom mjestu	Požari ove vrste tvari mnogo češće nastaju zbog pripaljivanja iskrom , upalom žeravicom ili djelovanjem inog vanjskog izvora energije paljenja nego li zbog samozagrijavanja!
djeteline (vrste kao što su lucerna) ¹³	velika	vreće, hrpe (u rasutom stanju)	nedopustiva razina vlažnosti i prijevoz u dovoljno (na prodor svježeg zraka) nezabrtvljenim transportnim prostorima	Mnogi slučajevi požara pripisani samozagrijavanju su vjerojatno uzrokovani iskrom , žeravicom ili užarenim česticama kovina upalih tijekom strojne obrade krmiva. ¹⁴
gnojiva (miješana, sintetska, sa sadržajem nitrata i organske tvari)	umjerena	u rasutom stanju, vreće	propusti u izbjegavanju sadržaja slobodnih kiselina pri njihovoj proizvodnji i još neki požarno (ali i eksplozijski) vrlo opasni nedostaci ¹⁵	Važno i osiguravanje dovoljnog prozračivanja pri procesu odležavanja (skladištenjem u neprevelikim hrpama ili povremenim raskrčivanjem i prebacivanjem (hlađenjem) hrpi. Između slogova vreća s gnojivom treba osigurati dovoljne razmake za provjetranje.
gnojiva (organska, anorganska ili njihove smjese)	umjerena	u rasutom stanju, vreće	propusti u izbjegavanju iznimno niskih ili iznimno visokih razina sadržaja vlage	Pri proizvodnji organskih gnojiva sa sadržajem nitrata mora se izbjeći one sastojine koje mogu pridonijeti sklonosti samozagrijavanja.
gnojivo, stajsko	umjerena	u rasutom stanju	propusti u izbjegavanju preniskog ili previsokog stupnja vlažnosti tvari i propusti glede nedostatnog provjetranja hrpi	Izbjegavati skladištiti ili tovariti nedovoljno ohlađeno gnojivo.
guma (otpac pri proizvodnji ili komadi gume kao pakirna ispuna)	umjerena	u rasutom stanju, bačve	nepoštovanje obveze držanja u dobro zabrtvljenim spremnicima ili posudama za otpatke ili pakirna punila s visokim postotkom sadržaja gume	Komadi u obliku blokova, ploča ili nešto tanjih listova su relativno manje skloni samozagrijavanju, ali samo onda ako ih se ne pakira ili ne skladišti u hrpama još posve neohlađene.

guma, lateks (na osnovi kaučuka)— penasta/spužvasta (u sklopu raznih vrsta proizvoda)	<i>umjerena</i>		Propusti u uklanjanju, kada god je to moguće, pjenastih gumastih obloga iz pakiranih materijala prije izlaganja u sušionicima ili pećima za sušenje. Propusti u dopuštanju utjecaja grijaćih tijela, sušila za kosu i inih izvora topline na jastuke/obloge od takvog materijala. ¹⁶	U pjenastih guma se proces samozagrijavanja može razviti nakon izlaganja prisilnom sušenju (uključujući i u struji vrućeg zraka), kako uz pomoć kućanskih aparata tako i u proizvodnim ili inim sušionicima, ili nakon dodira s grijaćim tijelima ili inim izvorima topline. Prirodno sušenje ne uzrokuje takve pojave.
istle (vlakna od bilo koje vrste agave za tkanje vreća i sagova)	<i>vrlo slaba</i>	u rasutom stanju, balirana	propusti u izbjegavanju vlažnosti i držanje na toplom mjestu	Samozagrijavanje je moguće samo u vlažnom materijalu (drugačije ne). Djelomice nagorjela ili karbonizirana vlakna su vrlo sklona tom procesu.
jaja u prahu	<i>vrlo slaba</i>	drvene bačve	propuštanje mjera za sprečavanje razvoja bakterija ili procesa truljenja, odnosno čuvanje u pretoplim uvjetima	Moguće pojave samozagrijavanja zbog procesa truljenja pri skladištenju.
ječam, pivarski (osušen, bez sadržaja ulja)	<i>umjerena</i>	u rasutom stanju	propusti u održavanju sigurnosno optimalne razine vlažnosti (7 – 10% vlažnosti) i u hlađenju (ispod 38°C) prije skladištenja	Požarno vrlo opasan ako je sadržaj vlage u zrnju 5% ili niži!
ječam, pivarski (osušen, sa sadržajem ulja)	<i>umjerena</i>	u rasutom stanju	propusti u održavanju optimalne razine vlažnosti (7 – 10% vlažnosti) i u hlađenju (ispod 38 °C) prije skladištenja	Požarno vrlo opasan ako je sadržaj vlage u zrnju 5% ili niži!
juta	<i>vrlo slaba</i>	u rasutom stanju	propusti u izbjegavanju vlažnosti i držanje na toplom mjestu	Treba izbjegavati skladištenje ili sabijanje u vruće vlažne naslage. Djelomice nagorjela ili karbonizirana vlakna su vrlo sklona tom procesu.
kakao, ljuske zrna	<i>umjerena</i>	vreće od jute, u rasutom stanju	propuštena iznimno potrebna pozornost u nadzoru dopuštenih razina vlažnosti tvari; skladištenje u vlažnim prostorima	Kako je materijal iznimno higroskopan, kada se dovoljno navlaži sklon je samozagrijavanju.
kikiriki, oljušteni	<i>vrlo slaba ili zanemariva</i>	papirnate vreće, limenke, kutije, vreće	nedovoljno hladan i suh	Spriječiti kontaminiranje krpa i inih poroznih gorivih tvari njegovim uljem.
kikirikijeva «crvena kožica»	<i>velika</i>	papirnate vreće, limenke, kutije, vreće	nedovoljno provjetranje skladišta	Osiguranje dobre ventilacije je ključna mjera prevencije.

kompost	umjerena	u rasutom stanju	propusti u izbjegavanju preniskog ili previsokog stupnja vlažnosti tvari i propusti glede nedostatnog provjetravanja hrpi	Izbjegavati skladištiti ili tovariti nedovoljno ohlađen. Povremeno prevrtati hrpe zbog hladenja mase.
kopra (sušena kokosova jezgra)	slaba	u rasutom stanju	primitivni način sušenja (na otvorenoj vatri); držanje u vlažnom i toplom prostoru	Samozagrijavanje je moguće u vlažnom i toplom prostoru.
koncentrati rude bakra	umjerena	u rasutom stanju	skladištenje koncentrata rude u prevelikim hrpama, držanje u vlažnom i toplom prostoru	Vlaga ubrzava samooksidaciju, poglavito u vrlo usitnjenom koncentratu.
kovine (metali) u prahu	umjerena	bačve itd.	čuvanje u nedovoljno zabrtvljenim spremnicima	Vlaga ubrzava oksidaciju u većine kovina u praškastom stanju.
kovinske (tokarske) strugotine	praktično (uvjetno) ne postoji	u rasutom stanju	(ne čine se sklonima samozagrijavanju – vidi preciznije tekstove o « <i>pirofornim</i> » metalima)	Treba ih zaštititi od upadanja užarenih iskri iz okoline.
koža, otpaci (prerađene kože)	vrlo slaba	bale, u rasutom stanju	kontaminiranje sušivim uljima i mastima	Uljem obrađena koža može biti sklona samozagrijavanju.
kože, sirove	vrlo slaba	bale	propusti u izbjegavanju vlažnosti i držanje na toplom mjestu	Bakterije u kemijski neobrađenoj (sirovoj) koži mogu potaknuti taj proces.
krovni i ini termo i hidrizolacijski materijali (samo stanovite vrste tipa impregniranog <i>filca</i> i <i>terpapira</i>)	umjerena	svitci (role), bale (svežnjevi), sanduci od drva i iverice	dopuštanje prekomjernog rasušivanja materijala u slabo provjetranim prostorima	Filc i njemu slični termoizolacijski materijali zahtijevaju održavanje normalnih razina vlažnosti. Pakiranje i smatanje u svitke (role) nedovoljno ohlađenog materijala može biti opasno za razvoj procesa samozagrijavanja.
krpe	različita	bale	propusti u sprečavanju kontaminacije sušivim uljima, u sprečavanju karbonizacije ili u čuvanju na suhom i hladnom	Skлонost samozagrijavanju ovisi o ranijoj uporabi krpa. Djelomice nagorjele ili karbonizirane krpe su požarno opasne.
krpe i slični gorivi otpaci, nauljeni/zamašćeni	velika	bale (svežnjevi)	ržanje u obliku hrpi/naslaga i na otvorenom prostoru	Posebna opasnost od samozagrijavanja prijeto u slučaju odlaganja mokrih krpa koje su nauljene sušivim uljima i mastima.
lakirani proizvodi	velika	kutije	propusti u procesu lakiranja, hladenja i/ili provjetravanja	Posve osušeni proizvodi, nakon lakiranja, su relativno bezopasni glede samozagrijavanja.

lanolin (vrsta masti koja se ekstrahira iz vune)	zanemariva	staklenke, limenke, metalni kanistri, bačve	neprijemljivo ili olako zanemareno curenje iz posuda po krpama, pamučnom materijalu ili po inim vlaknastim ili poroznim gorivim materijalima	Samozagrijavanje moguće na lanolinom kontaminiranim vlaknastim materijalima.
mlijeko u prahu	vrlo slaba	drvene i kartonske kutije, limenke	propuštanje mjera za sprečavanje razvoja bakterija ili procesa truljenja, odnosno čuvanje u pretoplim uvjetima	Moguće pojave samozagrijavanja zbog procesa truljenja ili fermentacije pri skladištenju.
monomeri (za polimerizaciju u industriji polimera i polimernih smola) ¹⁷	umjerena do velike	spremnici, cisterne	skladištenje ili transport mnogih vinil monomera (npr. <i>divinilbenzena</i> , <i>akriloil klorida</i> itd.), u previše toplim ili previše hladnim uvjetima ili bez dovoljno otapala, vlage ili dovoljno odgovarajućeg protupolimerizacijskog stabilizatora, čini ih sklonim spontanoj polimerizaciji, pa i eksploziji	Preporuča se držanje u najmanjim, praktično pogodnim, količinama ili transport u manjim količinama. Radije u više manjih nego li u jednom velikom spremniku/cisterni. Kad god je moguće, preporuča se držanje u razrijeđenom stanju (u otapalu) ili u vlažnom stanju, ili uz dodatak pogodnog kemijskog stabilizatora.
odjeća, nauljena/zamašćena	velika	kutije za odjeću	propuštanje posvemašnjeg sušenja odjeće prije pakiranja	Posebna opasnost od samozagrijavanja prijeteći u slučaju odlaganja mokre odjeće u hrpe, bez mogućnosti njihova dovoljnog provjetravanja.
olein («crveno ulje»)	umjerena	staklene boce, drvene bačve	neprijemljivo ili olako zanemareno curenje iz posuda po krpama, pamučnom materijalu ili po inim vlaknastim ili poroznim gorivim materijalima	Pojave samozagrijavanja krpa i inih gorivih poroznih materijala impregniranih ovom tvari su iznimno opasne. Stupanj sklonosti samozagrijavanju ovisi o vrsti/sastavu ulja.
oleinska kiselina	vrlo slaba	staklene boce, drvene bačve	neprijemljivo ili olako zanemareno curenje iz posuda po krpama, pamučnom materijalu ili po inim vlaknastim ili poroznim gorivim materijalima	Pojave samozagrijavanja krpa i inih gorivih poroznih materijala impregniranih ovom tvari su moguće ako ih se nedovoljno provjetrava.
oleomargarin	vrlo slaba	drvene bačve	neprijemljivo ili olako zanemareno curenje iz posuda po krpama, pamučnom materijalu ili po inim vlaknastim ili poroznim gorivim materijalima	Može doći do pojave samozagrijavanja tim uljem impregniranih vlaknastih materijala.
oleomargarin iz svinjskog sala	slaba	drvene bačve	neprijemljivo ili olako zanemareno curenje iz posuda po krpama, pamučnom materijalu ili po inim vlaknastim ili poroznim gorivim materijalima	Opasnost od samozagrijavanja u slučaju zamašćivanja vlaknastih gorivih tvari.

otpad, komunalni	različita	naslage na odlagalištima i inim deponijima, kontejneri i kante za otpatke	neuređenost odlagališta otpada i neredovito pražnjenje kontejnera pogoduje nastanku požara i njegovu širenju putem okolnog divljeg raslinja na šumske i ine površine pod raslinjem, poglavito nakon duljih vrlo sušnih, vrlo toplih i vjetrovitih razdoblja (u duljim suhim i vrlo hladnim zimskim razdobljima takve požare najčešće uzrokuju zaostali tinjajući ugarci u pepelu iz kućnih ložišta i ognjišta na čvrsta goriva ili neodgovorno odbačene otpadne nestabilne kemikalije)	Sklonost samozagrijavanju i samozapaljenju ovisi o: sabijenosti i prekrivenosti slojeva otpada nabijenim, za zrak nepropusnim, slojevima zemlje; vlažnosti slojeva; temperaturama zraka i tla; strukturi otpada (sadržaju otpadnih jestivih ulja, uljanih boja i lakova, masnih krpa i papira, biljnog otpada, otpadnih kemikalija itd.); strujanju zraka itd.
otpad od pjeskarenja svježe lakiranih drvenih predmeta	moгуća	u rasutom stanju, kontejneri, sanduci, vreće	prisutnost nitrolaka ili sušivih ulja i masti i/ili odlaganje u još neohladenom stanju	Treba dopustiti da se takav otpad posve ohladi prije sakupljanja i odlaganja.
pamuk, sirovi	umjerena	bale	prekomjerna vlažnost, ali mnogo češće prisutnost opasnih nečistoća, slučajno upalnih vrućih ili užarenih čestica inih tvoriva ili zagađenost «sušivim» uljem	Držanjem bala u dovoljno suhim i čistim skladišnim ili transportnim prostorima čini mogućnost njihova samozagrijavanja manje vjerojatnom.
papir, otpadni	umjerena	bale	propusti u sprečavanju vlaženja i dovoljnog provjetravanja	Mokar papir je ponekad sklon samozagrijavanju u slučaju skladištenja na toplim mjestima.
piljevina	moгуća	u rasutom stanju, kontejneri, vreće	kontaminacija sušivim uljima i mastima i/ili držanje u vrućim i vlažnim uvjetima	Djelomice nagorjela ili karbonizirna piljevina je požarno vrlo opasna.
ploče zidne, podne ili stropne obloga (stanovite vrste)¹⁸	slaba	umotane zasebno, kartonska obloga	propusti u održavanju neškodljive vlažnosti ili nepotpuno hlađenje prije odlaganja/skladištenja slojevitim naslagivanjem ploča	Materijal posve siguran od samozagrijavanja ako je proizveden prema normama.
polimeri u prahu (svježe proizvedeni)	slaba	skladišne hrpe	prevelike hrpe, još vrlo vrućih proizvoda, odmah nakon njihove proizvodnje	Proces samozagrijavanja do samozapaljenja se može razviti u relativno vrlo kratkim razdobljima zbog njihove dovoljne predgrijanosti.

polimeri otpadni – mljeveni ili usitnjeni (namijenjeni recikliranju)	slaba	velike kartonske kutije, sanduci, bale, kontejneri	dulje skladištenje u vrućim ljetnim uvjetima, oštećenom plastičnom folijom omotanih, pakiranja takvog usitnjenog materijala – zagađenog uljima, koja su zaostala na stijenkama i u plastičnim boca za pakiranje konzumnih i inih vrsta samooksidaciji sklonih ulja, prije sakupljanja i postupka njihova mljevenja/usitnjavanja	Proces samozagrijavanja u dubini mase tvari može biti ubrzan akumuliranom toplinom generiranom trenjem tijekom procesa mljevenja/sjeckanja ili zbog sadržavanja užarenih komadića čvrstih onečišćenja (kamenčića ili kovina) zagrijanih trenjem pri mljevenju.
polimerni proizvodi armirani staklenim vlaknima	vrlo slaba	umotani zasebno, kartonska obloga	slaganje u prevelike naslage ili slogove (jedan do drugoga) još vrlo vrućih proizvoda, odmah nakon njihove proizvodnje	Proces samozagrijavanja do samozapaljenja se može razviti u relativno vrlo kratkim razdobljima zbog njihove dovoljne predgrijanosti.
riblji otpaci ili komadići	velika	u rasutom stanju, vreće	propusti u izbjegavanju prevelikih razina vlažnosti	Pakiranje ili skladištenje u hrpama prije dovoljnog ohlađivanja je iznimno povoljno za razvoj procesa samozagrijavanja.
sapun u prahu	slaba	skladišne hrpe	slaganje u prevelike naslage ili slogove (jedan do drugoga) još vrlo vrućih proizvoda, odmah nakon njihove proizvodnje	Proces samozagrijavanja do samozapaljenja se može razviti u relativno vrlo kratkim razdobljima zbog njihove dovoljne predgrijanosti.
sijeno	umjerena	u rasutom stanju, balirano	prevelika vlažnost prije skupljanja i spremanja te propusti u nadziranju temperatura u slojevima naslaga prilikom skladištenja, odnosno prevelike dimenzije bala ili nedovoljan razmak između pojedinih bala nedovoljno osušene trave ili sijena	Previše vlažno sijeno u toploj atmosferi prostora skladištenja će se skoro sigurno samozagrijavati. U baliranom i razdvojeno slaganom, ili po baliranju neoštećenim polimernim folijama dobro zapakiranom, sijenu takve pojave su rijetko požarno opasne.
sisal (vlakna od jedne vrste <i>agave</i> za proizvodnju konopaca i otirača)	vrlo slaba	u rasutom stanju, bale	propusti u izbjegavanju vlažnosti i držanje na toplom mjestu	Samozagrijavanje je moguće samo u vlažnom materijalu (drugačije ne). Djelomice nagorjela ili karbonizirana vlakna su vrlo sklona tom procesu.
sjemenje, lana	vrlo slaba	u rasutom stanju	propusti u izbjegavanju vlažnosti i držanje na toplom mjestu	Sklonost samozagrijavanju ovisi o vlažnosti i sadržaju ulja.
sjemenje, pamuka	mala	vreće, u rasutom stanju	držanje u toplom i vlažnom prostoru	Samozagrijavanje moguće u vlažnim i toplim hrpama.

svilena odjeća i tkanine, nauljeni/za-maščeni	velika	kutije za odjeću i svitci	nedovoljno provjetranje prostora skladištenja	Opasnost od samozagrijavanja prijete u slučaju nedovoljnog sušenja. Čvrsto namotane role tkanine su bitno manje ugrožene.
stočna hrana (različita)	umjerena	u rasutom stanju, vreće	propusti u izbjegavanju iznimno niskih ili iznimno visokih razina sadržaja vlage	Mjere opreza pri mljevenju i inoj obradi. Izbjegavati punjenje u vreće ili skladištenje u rasutom stanju prije hlađenja mase.
tekstilni materijali (vrući pamučni i laneni, nakon pranja u praonicama i peglaonicama rublja)	mala	hrpe stolnjaka, ubrusa, kuhinjskih pregača, krpa, rublja i posteljine	slaganje u prevelike hrpe ili pretrpavanje u velike košare još neohlađenih predmeta ($T > 90\text{ °C}$) nakon procesa pranja i prisilnog sušenja zagrijavanjem ili nakon strojnog pegljanja pod velom vodenom parom	Sklonosti samozagrijavanju do samozapaljenja pogoduju mogući ostaci masnih mrlja jestivih ulja i/ili nepotpuno isprani ostaci deterdženata i izbjeljivača.
terpentin	mala	limenke, staklenke, bačve	neprijemčeno ili olako zanemareno curenje iz posuda po krpama, pamučnom materijalu ili po inim vlaknastim ili poroznim gorivim materijalima	Ima stanovite sklonosti samozagrijavanju, ali slabije od sušivih ulja. Kemijski opasno reagira sa spojevima klora i može uzrokovati nastanak požara.
tkanine, nauljene/za-maščene	velika	svitci (role)	propuštanje provjetranja i posvemašnjeg sušenja prije pakiranja	Iznimna opasnost od samozagrijavanja prijete u slučaju nedovoljnog sušenja. Čvrsto namotane role tkanine su relativno manje ugrožene.
ugljen, drveni (posebice svježe proizvedeni)	velika	u rasutom stanju, vreće	prodor vode/vlage i/ili izostanak prozračivanja	Pri njegovoj proizvodnji od tvrdih (bjelogoričnih) vrsta drveta mora se pazljivo voditi proces proizvodnje i paziti da dovoljno dugo odleži. Izbjegavati vlaženje i potom brzo sušenje.
ugljena prašina (naslage)	velika	nastaje pri radu s ugljenom	močenje vodom i dopuštanje sušenja naslaga	Ne dopustiti stvaranje naslaga. Izbjegavati vlaženje i potom brzo sušenje.
ugljeni, bitumenozni	umjerena	u rasutom stanju	skladištenje u prevelikim hrpama i/ili pri visokim temperaturama	Skлонost samozagrijavanju ovisi o vrsti i naravi (sastavu, granulaciji...). Visok sadržaj hlapljivih tvari pogoduje procesu.

ulje, bajame	<i>vrlo slaba</i>	metalne bačve, limenke u drvenim sanducima	neprijemljeno ili olako zanemareno curenje iz limenki po krpama, pamučnom materijalu ili po inim vlaknastim ili poroznim gorivim materijalima	Moguća pojava samozagrijavanja uljem namočenih/natopljenih tkanina u slabo provjetrivoj (zbijenim) hrpama ili naslagama.
ulje, bakalara (bakalarovo ulje)	<i>velika</i>	bačve, limenke, staklenke	neprijemljeno ili olako zanemareno curenje iz posuda po krpama, pamučnom materijalu ili po inim vlaknastim ili poroznim gorivim materijalima	Organske tvari impregnirane ovim uljem su požarno vrlo opasne.
ulje, bora	<i>umjere</i>	staklenke, bačve	neprijemljeno ili olako zanemareno curenje iz posuda po krpama, pamučnom materijalu ili po inim vlaknastim ili poroznim gorivim materijalima	Pojave samozagrijavanja krpa i inih gorivih poroznih materijala impregniranih ovom tvari su moguće ako ih se nedovoljno provjetrava. Stupanj sklonosti samozagrijavanju ovisi o vrsti/sastavu ulja.
ulje, gorušice (slačice, muštarde) crno	<i>mala</i>	bačve	neprijemljeno ili olako zanemareno curenje iz posuda po krpama, pamučnom materijalu ili po inim vlaknastim ili poroznim gorivim materijalima	Povećana opasnost od samozagrijavanja prijeto u slučaju nauljivanja vlaknastih gorivih tvari.
ulje, haringe (haringino ulje)	<i>između umjerene i velike</i>	bačve, kanistri, autocisterne	neprijemljeno ili olako zanemareno curenje iz posuda po krpama, pamučnom materijalu ili po inim vlaknastim ili poroznim gorivim materijalima	Posebna opasnost od samozagrijavanja prijeto u slučaju nauljivanja vlaknastih gorivih tvari.
ulje, kaka (kakaovo ulje)	<i>vrlo slaba</i>	bačve, limenke, staklenke	neprijemljeno ili olako zanemareno curenje iz posuda po krpama, pamučnom materijalu ili po inim vlaknastim ili poroznim gorivim materijalima	Požarno opasno samo ako dođe do impregniranja spomenutih dobro upijajućih materijala ovim uljem.
ulje, kikirikija (kikirikijevo ulje)	<i>mala</i>	drvene bačve, limenke	neprijemljeno ili olako zanemareno curenje iz posuda po krpama, pamučnom materijalu ili po inim vlaknastim ili poroznim gorivim materijalima	Pojave samozagrijavanja krpa i inih gorivih poroznih materijala impregniranih ovom tvari su moguće ako ih se nedovoljno prozračuje. Stupanj sklonosti samozagrijavanju ovisi o vrsti/sastavu ulja.
ulje, kitovo (nazivano još i « <i>ribljim uljem</i> »)	<i>umjerena</i>	bačve, autocisterne	neprijemljeno ili olako zanemareno curenje iz posuda po krpama, pamučnom materijalu ili po inim vlaknastim ili poroznim gorivim materijalima	Moguće pojave samozagrijavanja krpa i inih gorivih poroznih materijala impregniranih ovim uljem, osim u slučaju dobrog provjetravanja. Stupanj sklonosti samozagrijavanju ovisi o vrsti/sastavu ulja.

ulje, konoplje	umjerena	autocisterne, bačve, kanistri, limenke, staklenke	neprijetećeno ili olako zanemareno curenje iz posuda po krpama, pamučnom materijalu ili po inim vlaknastim ili poroznim gorivim materijalima	Moguće pojave samozagrijavanja krpa i inih gorivih poroznih materijala impregniranih ovim uljem, osim u slučaju dobrog provjetravanja. Stupanj sklonosti samozagrijavanju ovisi o vrsti/sastavu ulja.
ulje, kukuruza (kukuruzno ulje)	umjerena	bačve, autocisterne	neprijetećeno ili olako zanemareno curenje iz posuda po krpama, pamučnom materijalu ili po inim vlaknastim ili poroznim gorivim materijalima	Opasno samozagrijavanje u hrpama kukuruznog brašna ili krupice je malo vjerojatno, osim ako se one ne uskladište još vruće u velikim hrpama.
ulje, lana (laneno ulje)	velika	autocisterne, bačve, kanistri, limenke, staklenke	neprijetećeno ili olako zanemareno curenje iz posuda po krpama, pamučnom materijalu ili po inim vlaknastim ili poroznim gorivim materijalima	Krpe i inih gorivi porozni materijali impregnirani ovim uljem su iznimno opasni! Treba izbjegavati odlaganje takvih materijala u hrpama, već ih treba odbacivati u zatvorene metalne kante za otpatke.
ulje, maslinovo	između umjerene i male	autocisterne, bačve, limenke, staklenke	neprijetećeno ili olako zanemareno curenje iz posuda po krpama, pamučnom materijalu ili po inim vlaknastim ili poroznim gorivim materijalima	Pojave samozagrijavanja krpa i inih gorivih poroznih materijala impregniranih ovom tvari su moguće ako ih se nedovoljno provjetrava. Stupanj sklonosti samozagrijavanju ovisi o vrsti/sastavu ulja.
ulje, morskog psa (jetre)	umjerena	kanistri, bačve, autocisterne	neprijetećeno ili olako zanemareno curenje iz posuda po krpama, pamučnom materijalu ili po inim vlaknastim ili poroznim gorivim materijalima	Požarno opasno samo ako dođe do impregniranja spomenutih dobro upijajućih materijala ovim uljem.
ulje, palmينو	mala	drvene bačve	neprijetećeno ili olako zanemareno curenje iz posuda po krpama, pamučnom materijalu ili po inim vlaknastim ili poroznim gorivim materijalima	Pojave samozagrijavanja krpa i inih gorivih poroznih materijala impregniranih ovom tvari su moguće ako ih se nedovoljno provjetrava. Stupanj sklonosti samozagrijavanju ovisi o vrsti/sastavu ulja.
ulje, pamuka (iz sjemenki pamuka)	umjerena	bačve, autocisterne	neprijetećeno ili olako zanemareno curenje iz posuda po krpama, pamučnom materijalu ili po inim vlaknastim ili poroznim gorivim materijalima	Moguća pojava samozagrijavanja uljem namočenih ili natopljenih materijala u slabo provjetrivim (zbijenim) hrpama ili naslagama.

ulje, perila (zamjena za laneno ulje) ¹⁹	između umjerene i velike	limenke, bačve	neprijemljeno ili olako zanemareno curenje iz posuda po krpama, pamučnom materijalu ili po inim vlaknastim ili poroznim gorivim materijalima	Pojave samozagrijavanja krpa i inih gorivih poroznih materijala impregniranih ovom tvari su moguće ako ih se nedovoljno provjetrava. Stupanj sklonosti samozagrijavanju ovisi o vrsti/sastavu ulja.
ulje, srdele	umjerena	kanistri, bačve, autocisterne	neprijemljeno ili olako zanemareno curenje iz posuda po krpama, pamučnom materijalu ili po inim vlaknastim ili poroznim gorivim materijalima	Požarno opasno samo ako dođe do impregniranja spomenutih dobro upijajućih materijala ovim uljem.
ulje, uljane repice	umjerena	plastične posude, staklenke, limenke, bačve, autocisterne	neprijemljeno ili olako zanemareno curenje iz posuda po krpama, pamučnom materijalu ili po inim vlaknastim ili poroznim gorivim materijalima	Moguća pojava samozagrijavanja uljem namočenih ili natopljenih materijala u slabo provjetrivim (zbijenim) hrpama ili naslagama.
ulje, riblje	velika	kanistri, bačve, autocisterne	neprijemljeno ili olako zanemareno curenje iz posuda po krpama, pamučnom materijalu ili po inim vlaknastim ili poroznim gorivim materijalima	Uljem impregnirani dobro upijajući gorivi materijali su požarno iznimno opasni. Stupanj sklonosti samozagrijavanju ovisi o vrsti i sastavu ribljeg ulja.
ulje ricinusa (ricinusovo ulje)	vrlo slaba	metalne bačve, limenke u drvenim sanducima	neprijemljeno ili olako zanemareno curenje iz limenki po krpama, pamučnom materijalu ili po inim vlaknastim ili poroznim gorivim materijalima	Moguća pojava samozagrijavanja uljem namočenih/natopljenih tkanina u slabo provjetrivim (zbijenim) hrpama ili naslagama.
ulje, soje (sojino ulje)	umjerena	plastične posude, staklenke, limenke, bačve, autocisterne	neprijemljeno ili olako zanemareno curenje iz posuda po krpama, pamučnom materijalu ili po inim vlaknastim ili poroznim gorivim materijalima	Moguće pojave samozagrijavanja krpa i inih gorivih poroznih materijala impregniranih tim uljem, osim u slučaju dobrog provjetravanja.
ulje, suncokreta (suncokretovo ulje)	umjerena	plastične posude, staklenke, limenke, bačve, autocisterne	neprijemljeno ili olako zanemareno curenje iz posuda po krpama, pamučnom materijalu ili po inim vlaknastim ili poroznim gorivim materijalima	Moguće pojave samozagrijavanja krpa i inih gorivih poroznih materijala impregniranih tim uljem, osim u slučaju dobrog provjetravanja.
ulje, šafranikino	umjerena	plastične posude, staklenke, limenke, bačve	neprijemljeno ili olako zanemareno curenje iz posuda po krpama, pamučnom materijalu ili po inim vlaknastim ili poroznim gorivim materijalima	Moguće pojave samozagrijavanja krpa i inih gorivih poroznih materijala impregniranih tim uljem, osim u slučaju dobrog provjetravanja.

ulje, tung orašćica (tungovo ulje)	<i>umjerena</i>	limenke, bačve, autocisterne	neprijemljivo ili olako zanemareno curenje iz posuda po krpama, pamučnom materijalu ili po inim vlaknastim ili poroznim gorivim materijalima	Moguće pojave samozagrijavanja krpa i inih gorivih poroznih materijala impregniranih tom tvari. Stupanj sklonosti samozagrijavanju ovisi o vrsti/sastavu ulja.
vapno, negašeno (kalcijev oksid, živo vapno, negašeni kreč)	<i>umjerena</i>	papirnate vreće, drvene bačve, u rasutom stanju	nesprečavanje prodora vode/vlage ili pakiranje proizvoda dok je još vruć	Namočen vodom se može toliko zagrijati da zapali drvenu ambalažu, blizu prisutne gorive tvari celuloznog podrijetla i mnoge ine gorive tvari.
vreće, rabljene (materijal rabljenih vreća, tzv. «vrećevina»)	<i>moгуća</i>	bale (svežnjevi)	držanje u vlažnom i toplom prostoru	Sklonost samozagrijavanju ovisi o ranijoj namjeni/uporabi vreća od jute ili od inih vlaknastih materijala celuloznog podrijetla.
vuna, mineralna (nezagađena uljima i mastima) ²⁰	<i>ne postoji</i>	ljepenke, kutije, papir, vreće	Negoriva je. Ako se upakira vruća, može uzrokovati zapaljenje materijala pakiranja i inih gorivih tvari u njezinoj blizini.	Materijal se spominje u ovoj tablici samo zbog prevladavajućeg uvjerenja kako je on sklon spontanom samozagrijavanju!
vuna, ovčja, sirova ili otpaci pri preradi	<i>umjerena</i>	u rasutom stanju, bale	držanje na toplim, vrlo vlažnim i neprovjetravanim mjestima, ili neodlaganje u predviđene zatvorene metalne kontejnere	Do samozagrijavanja otpadaka pri preradi može doći jer obično sadrže masnoće i ulja od procesa tkanja, pletenja ili sukanja. Mokri otpaci su vrlo podložni tomu.
željezov pirit	<i>umjerena</i>	u rasutom stanju	skladištenje rude u prevelikim hrpama, u vlažnim i toplim uvjetima	Vlaga ubrzava samooksidaciju, poglavito u vrlo usitnjenom piritu.
žitarice, općenito (raznih vrsta)	<i>vrlo slaba</i>	u rasutom stanju, vreće	propusti u izbjegavanju prevelikih razina vlažnosti	Brašno je sklono samozagrijavanju ako je vlažno i toplo.

OPĆE PREVENTIVNE MJERE I AKTIVNOSTI SIGURNOSTI I ZAŠTITE OD POŽARA I EKSPLOZIJA

Kriminalistički, forenzično i osiguravateljski osobito zanimljive uobičajene preventivne mjere i aktivnosti sigurnosti i zaštite od požara i eksplozija (SIZOPIE) prilikom uporabe ili rada na skladištenju tvari sklonih samozagrijavanju i samozapaljenju u osnovi se svode na sljedeće:

- izbjegavanje uporabe ili odvajanje (otklanjanje) tvari sklonih samozagrijavanju i samozapaljenju ili onih koje potiču (kataliziraju i/ili toplinski iniciraju) samozagrijavanje i samozapaljenje (supstitucijom manje opasnim tvarima, promjenom vrste i režima rada itd.);
- kontinuirano održavanje nužnog ili predviđenog stupnja inertizacija zatvorenih prostora skladištenja i/ili tehnološke obrade tvoriva u uvjetima povišenih temperatura i/ili tlakova (npr. sa CO₂, N₂, He, Ar ili s inim pogodnim inertnim tvarima);
- automatska ili žurno interventna (iznimno brza/skoro trenutna) flegmatizacija zatvorenih prostora²¹ ili fizikalnokemijska stabilizacija (izvan područja zapaljivosti) svih prašenju sklonih gorivih tvari (zbog njihove opasne sklonosti povremenom ili prigodnom tvorenju zapaljivih i eksplozivnih prašina u smjesi sa zrakom);
- osiguravanje odgovarajućeg, dovoljno pouzdanog, sustava hlađenja i/ili provjetravanja (prozračivanja, ventilacije) mase tvoriva;
- razdjeljivanje i odvajanje samozagrijavanju i samozapaljenju sklonih tvari (a poglavito kemijski relativno vrlo nestabilnih tvari) u manje obujamske ili težinske dijelove (rad s manjim količinama opasnih tvari);
- primjena tehnika čuvanja i spremanja s odgovarajućim sigurnosnim međuprostorima (razmacima);
- skladištenje pri sniženim temperaturama i tlakovima i/ili pri odgovarajućoj (automatski nadziranoj i održavanoj) relativnoj vlažnosti mase tvoriva i okolne atmosfere/zraka;
- neprestana automatska ili povremena redovita automatska ili ručna instrumentalna kontrola kretanja temperatura po različitim dubinama mase naslaga ili hrpe uskladištene tvari i/ili promjena (parcijalnog) tlaka (pojedinih vrsta plinova) u dobro hermetiziranim spremnicima ili inim zatvorenim prostorima, odnosno kontrola kretanja kvalitativnog i kvantitativnog sastava plinova lokalne atmosfere iznad površine mase tvari;
- ugradnja sustava za: automatsko (ili ručno) dojavljivanje i gašenje požara, automatsko zaustavljanje procesa (operacije), sprečavanje (prigušivanje) i/ili odušivanje eksplozija;
- razrada procesnih, operativnih i radnih naputaka u cijelom procesu proizvodnje (posebno za slučajeve pokretanja i zaustavljanja rada cjelokupnog postrojenja ili pojedinih procesnih jedinica);
- ostale pogodne mjere i aktivnosti koje su specifične (posebno propisane) za pojedine opasne tvari i tehnološke procese ili operacije u preradi ili proizvodnji takvih tvari i
- ine uobičajene opće mjere SIZOPIE.

NEKI ZAJEDNIČKI PROBLEMI VEZANI ZA KRIMINALISTIČKI OČEVID NA MJESTU POŽARA

Unatoč prisutnosti mnoštva (tablično pobrojanih i dalje navedenih i opisanih) razvidnih makrotragova i inih indicija, koje jasno ukazuju na lako moguć *proces samooksidacije, samozagrijavanja i samozapaljenja sijena* ili *ine biljne stočne hrane*, odnosno inih prije pobrojanih skupina i vrsta tvari sklonih mikrobiološkim egzotermnim promjenama i/ili «*tihoj oksidaciji*» te samozagrijavanju i samozapaljenju, teško je za očekivati da će svi oni koji prvi pristignu na mjesto događaja i koji profesionalno ili dragovoljno sudjeluju u gašenju takvih požara moći lako uočiti, stručno prepoznati ili jasno razlikovati radi li se o *samozapaljenju* ili *nekom drugom uzroku požara*, a poglavito ne radi li se o *slučajno*

nastalom ili *zlonamjerno potaknutom pregrijavanju* biljne ili ine tvari unutar, primjerice, stoga/plasta ili kamare sijena. Premda postoje tipični i lako razvidni makrotragovi, koji u najmanju ruku otklanjaju mogućnost inih možebitnih *načina* i *uzroka nastanka* takvih požara, pouzdano kriminalističko i kasnije laboratorijsko (forenzično) istraživanje takvih događaja nije moguće bez sudjelovanja iskusnih stručnjaka, koji će poduzeti odgovarajuće kriminalističko – tehničke radnje prilikom očevida na mjestu požara i (onih) koji će potom obaviti stanovita *fiziološka, mikromorfološka, kemijska* i eventualna *bakteriološka ispitivanja* i *analize* u forenzičnom laboratoriju.

Kako je *dinamički stadij očevida* zbog istraživanja i razjašnjavanja *načina* i *uzroka nastanka* i ove vrste požara relativno opsežan i ujedno tjelesno vrlo naporan posao, rukovoditelj ekipe za očevid ne bi se trebao ustezati obratiti za pomoć zapovjedniku, na mjestu događaja angažiranih, vatrogasaca. Takva pomoć je vrlo korisna i može biti vrlo djelotvorna, poglavito ako se radi o stručno obrazovanim i iskusnim vatrogascima koji dobro poznaju kako izgledaju tipični makrotragovi kod pojava samozapaljenja sijena ili ine biljne stočne hrane, odnosno kod pojava samozapaljenja inih tvari ili materijala sklonih mikrobiološkim egzotermnim promjenama i/ili «*tihoj oksidaciji*» te samozagrijavanju i samozapaljenju.

Pritom treba podsjetiti kako ***skoro da i nema ni jednog slučaja požara (ili eksplozije) gorivih ili eksplozivnih tvari u kojem se bit uloge i zadaća vatrogasaca, s jedne strane, i kriminalističke policije, s druge strane, interesno ne sučeljavaju u tolikoj mjeri da eventualno neznanje i neiskustvo vatrogasaca glede ponašanja na mjestu lakomogućeg kaznenog djela (ali i eventualni nepravodoban dolazak policijskih i kriminalističkih službenika na mjesto nastalog požara/explozije) ne bi moglo biti presudno pogubno za konačno uspješno kriminalističko razjašnjavanje takvog događaja. U slučajevima požara tvari sklonih samozagrijavanju i samozapaljenju taj problem je posebno izražen!!!***

Naime, u svim takvim slučajevima, s vatrogasnog stajališta (polazeći od počela učinkovitosti taktike gašenja požara), najdjelotvornije je primijeniti metodu

mehaničkog rušenja, razbijanja i grubog rastresanja hrpe ili naslaga (odnosno mehaničkog razbijanja i rastresanja zbijeno pakiranih vlaknastih tvari iz pakiranih bala ili postupnog ispuštanja sloja uskladištenog zrnatog materijala iz požarom zahvaćenih komora ili silosa), a potom i finijeg mehaničkog rastresanja uz neprestano obilno natapanje vodenom maglom hrpe ili gomile plamtećeg i/ili tinjajućeg materijala (npr. plasta ili bala sijena, bala sirovog pamuka, hrpe ugljena ili sjemenki uljarice, žitarice itd.) i rastresenog materijala.

Posve je razumljivo kako je *lokaliziranje* (blokiranje daljeg nesmetanog širenja) i *posvemašnje gašenje* požara, uz *zaštitu od mogućeg prenošenja požara na okolne objekte i prostore, vatrogascima od prioritetne važnosti*, ako im već, prije toga (ili istodobno), nije bilo nužno izvršiti još i *zadaću spašavanja izravno ugroženih ljudskih života* iz požarom zahvaćenih objekata i prostora te *zadaću evakuiranja* svih inih, požarom možebitno ugroženih, osoba i životinja.

Međutim, ***ako se pak takav plast (naslage ili bale) sijena, odnosno hrpa inog uskladištenog gorećeg materijala, nekontrolirano mehanički razruše, razbacaju i rastresu, izgledi za pronalazak i fiksiranje kriminalistički relevantnih pouzdanih tragova koji nedvojbeno ukazuju na razvoj procesa samozagrijavanja i samozapaljenja, s motrišta traseologije*** (tj. sa stajališta predstojećih zadaća kriminalističke policije i forenzičnih znanosti), ***ravni su ništici***. Zbog toga se eventualni ***nepravodoban dolazak kriminalista na mjesto događaja*** (poglavito odgovarajućih stručnih osoba ili sudskih vještaka za očevide na mjestima požara takvih vrsta tvari), u pravilu, ***negativno odražava na rezultate kriminalističkog istraživanja načina i uzroka nastanka požara***.

Kako vatrogasci nastoje svim raspoloživim snagama, posjedujućom vatrogasnom tehnikom i sredstvima, što brže i što bolje, izvršiti svoju zadaću, nerijetko se događa da pri tomu – u nedostatku, pravodobno i na pravom mjestu (tj. zapovjedniku vatrogasne intervencije), postavljenih zahtjeva i dovoljno preciznih uputa voditelja ekipe za kriminalistički očevid (uz savjete stručne osobe/vještaka) – obave cijeli posao, na takav način i takvim sredstvima, koji (na

žalost prekasno pristiglih ili inim zadaćama prezaposlenih kriminalista) najbolje odgovaraju isključivo početima učinkovitosti i općoj taktici postupanja u žurnim vatrogasnim intervencijama.

Kako bi se ublažile lako moguće nepopravljive štetne posljedice za predstojeći kriminalistički rad na očevidu požara takve vrste, tj. kako bi se što više smanjio rizik od mogućeg nepovratnog gubitka ključnih tragova, **sve sudionike vatrogasne intervencije treba pravodobno, u najpogodnijem trenutku i na najpogodniji način** (najbolje vrlo kratkotrajnim okupljanjem postrojbe oko zapovjednika i voditelja ekipe za očevid, u pratnji stručne osobe ili vještaka), u službenom obliku, cjelovito, **kratko i dovoljno precizno obavijestiti o izgledu tipičnih tragova samozapaljenja koje lako mogu uočiti i prepoznati i koje moraju nastojati sačuvati od uništenja pri vatrogasnoj intervenciji.**²²

ZAKLJUČNO RAZMATRANJE SKUPNIH POSEBNOSTI PREVENCIJE I KRIMINALISTIČKOG/FORENZIČNOG ISTRAŽIVANJA

Pri prevenciji požara, odnosno pri kriminalističkom, osiguravateljskom, internom ili inom istraživanju slučajeva požara, bilo koje od prije navedenih stvari poznatih po sklonosti samozagrijavanju i samozapaljenju treba poći od činjenice kako je za nastanak požara gorivih stvari takvih sklonosti posve dovoljno da one, na nekom pogodnom mjestu i pod stanovitim (prije opisanim specifičnim) pogodujućim okolnostima, budu izložene ostalim nedostajućim, za tu stvar znakovitim, pogodnim uvjetima za nastanak takvog procesa.

Kako je, kao i kod svih požara inih vrsta gorivih stvari, pitanje prisutnosti početne oksidacijske stvari (stanovita strana tvar kao dovoljno jaki oksidans ili oksidacija s kisikom iz zraka) i eventualne prisutnosti dovoljno utjecajne (bio)katalitičke stvari, jednako složeno, preostaje posebno složeno pitanje eventualne vanjske pojave (plamen, užarena/vrela površina ine stvari, izbijanje električnog naboja...) ili iznutra spontano

generirane energijske sastavnice (do uspješnog postizanja *temperature samozapaljenja* stvari) za ostvarivanje svih *uvjeta nužnih za nastanak požara*. Zato preveniranje nastanka požara i eksplozija, kao i istraživanje takvih slučajeva, koji mogu biti uzrokovani *samozagrijavanjem*, može biti dodatno zakomplicirano zbog nepoznanice vrlo neizvjesnog utjecaja uzajamnog odnosa između potrebne količine topline i potrebnog vremena/razdoblja njezina utjecaja na tvar.

Budući da je primarni cilj svakog istraživanja bilo kojeg slučaja požara (ili eksplozije) što pouzdanije **određivanje što užeg mjesta nastanka požara** (po mogućnosti, mjesta samog **ishodišta požara**, odnosno **središta** stanovite vrste *eksplozije*), prije nego li se upusti u relativno dugotrajan, mukotrpan i do kraja istraživanja neizvjestan posao provjeravanja mogućih hipoteza glede možebitno nastalih spontanijih reakcija i procesa samozapaljenja, istražitelji se moraju prvo posve uvjeriti kako je početni stadij požara zaista buknuo – zapravo, kako se njegova *inicijacija* zaista dogodila – upravo na stanovitom sumnjivom mjestu.

Za to je nužno, prvo, pozorno proučiti i prisposodobiti informacije i podatke dobivene na osnovi obavljenih obavijesnih razgovora s prvim očevicima, s prvoprteklim gasiteljima i spasiteljima, s vatrogascima te onih iz bilješki obavijesnih razgovora i posebnih zapažanja *prvopristiglih policijskih ophodnika i pozornika*, a potom pozorno pregledati, kritički razmotriti i znalački protumačiti tragove djelovanja požarnog dima i plamena, geometrijskih oblika i relativnih dubina karbonizacije (kompaktnih materijala celuloznog podrijetla, npr. drvenih konstrukcija i predmeta), *kalcinacije* i *ljuštenja* (betonskih površina i žbuke), rubova oštećenja konstrukcijskih elemenata pod utjecajem plamena, tinjanja i vrelih plinovitih produkata izgaranja, kao i inih uočljivih *makrotragova*.

Tek onda kada se uspjelo odrediti uže mjesto nastanka požara ili njegovo samo *ishodište*, sva pozornost kriminalista (poglavito stručnih osoba i specijaliziranih forenzičara u ekipi za očevid) može se usredotočiti na potragu za znakovitim karboniziranim i/ili toplinski degradiranim ostacima u samom ishodištu požara.

Neke znakovite skupne posebnosti materijalnih tragova i inih indicija

Bogata iskustva hrvatske i inozemne kriminalističke prakse očevida na mjestima požara s takvim tvarima pokazuju kako se na mikrolokacijama, na kojima su se, prije nastanka samozapaljenja, zbivali forenzično ključno zanimljivi procesi samozagrijavanja, nerijetko ne mogu pronaći baš nikakvi znakoviti ostaci na osnovi kojih bi se proces samozagrijavanja mogao forenzično dokazati. To je, naravno, zbog toga što baš na tim istim mjestima, nakon stanovitog razdoblja, bukne tinjajuće zapaljenje i izgaranje materijala koji je dotad bio zahvaćen završnim stadijem samozagrijavanja. Kako se dijelovi ili cjelokupna masa procesom samozagrijavanja i samozapaljenja zahvaćene hrpe ili naslaga tvari mogu pritom zagrijati blizu svoje temperature samopaljenja, kada prvi plamenovi plamtećeg izgaranja izbiju na površini dimeće hrpe tvari, kemijska detekcija i identifikacija forenzično iznimno zanimljivih eventualnih ostataka početno reagirajućih tvari (kemijskih reaktanata) lako može postati praktički posve neizvedivom.

Tako su mnoga probna laboratorijska ispitivanja neizgorjelih i karboniziranih ostataka uzoraka pamučne odjeće, koji su bili nauljeni *lanenim uljem*, pokazala kako se, nakon završenog procesa samozagrijavanja i samozapaljenja, iz njih više ne mogu ekstrahirati (izvući i pronaći) nikakvi tragovi kemijski eventualno neizreagiralog lanenog ulja na osnovi kojih bi se kvalitativnim i kvantitativnim metodama kemijske analize moglo identificirati i forenzično zaključiti o mehanizmu koji je uzrokovao pojavu zapaljenja takve odjeće. To se objašnjava time što temperatura unutar mase reagirajuće tvari, nakon stanovitog vremena, postiže takve vrijednosti veličine koje su posve dovoljne za poticanje na kemijske reakcije samooksidacije cjelokupne količine prisutnih reagirajućih tvari, pa ubrzo nastalo samozapaljenje i izbijanje, čak i samo relativno kratkotrajnog, požara te vatrogasna intervencija gašenja požara može lako posve uništiti bilo kakve kemijski znakovite ostatke.

Međutim, kako ipak (poglavito u većim hrpama ili naslagama tvari) postoji mogućnost detektiranja stanovitih količina kemijski posve neizreagiranih tvari sklonih samozagrijavanju i

samozapaljenju, treba se pobrinuti da se tijekom dinamičkog stadija očevida dovoljan (što veći) broj uzoraka ostataka takvih tvari propisno kriminalistički fiksira, izuzme i odgovarajućim načinom pakiranja i pohrane zaštiti od naknadnih štetnih vanjskih utjecaja (uporabom kemijski čistih i dobro zabrtvljenih limenki i staklenki te držanjem na suhom hladnom mjestu), zbog obavljanja kasnijih forenzičnih laboratorijskih ispitivanja.

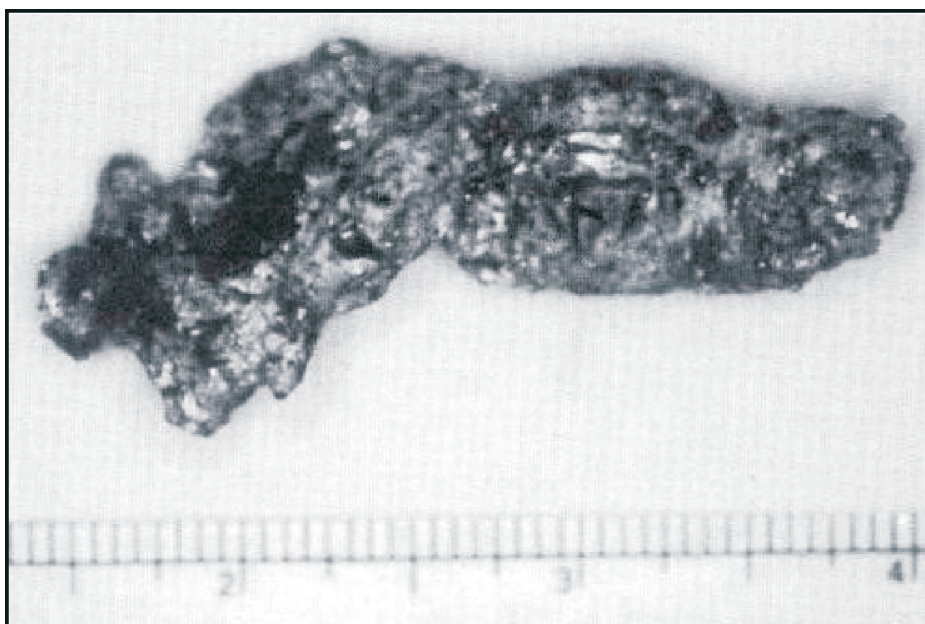
Zato posebnu pozornost treba obratiti na sva ona požarom manje oštećena ili neoštećena mjesta u istoj hrpi, slogu pakiranja/bala, naslagama ili slojevima iste tvari, kao i na ina obližnja i podalja mjesta njihova držanja/skladištenja ili tehnološke obrade. S tih mjesta, također, treba, nakon pozornog mehaničkog odvajanja površinskih slojeva (učincima djelovanja i gašenja obližnjeg požara kontaminiranih) materijala te, potom, daljeg nastavka raslojavanja prema unutarnjosti obujma hrpe/naslaga,²³ izuzeti dovoljan broj uzoraka za forenzične laboratorijske analize. Njihovim forenzičnim vještačenjem se, vrlo vjerojatno, mogu pronaći tragovi praktički svih stadija uznapređovalog procesa samozagrijavanja, počevši od znakovitih tragova promjene/gubitka normalne *boje* tvari do znakovitih tragova *karbonizacije* ili *tinjanja*, i tako neizravno dokazati mehanizam uzroka eventualnog samozagrijavanja i samozapaljenja/nastalog požara obližnjeg sloga ili hrpe tvari.

Forenzična laboratorijska analiza službeno izuzetih *karboniziranih* i/ili *pepeljastih* ostataka izgaranja takvih tvari također može biti od iznimno velike kriminalističke važnosti, jer se u takvim materijalnim tragovima lako može pronaći i dokazati eventualna prisutnost forenzično relevantnih (*enormnih, neuobičajeno velikih*) količina *mikrotragova* tvari ili stanovitih nepravilnih staklenih, polimernih ili metalnih *makrotragova* (krhotina) ostataka eventualnih primitivnih ili jednostavnih sredstava, pa i stanovitih sofisticiranijih naprava, za zlonamjerno podmetanje požara, pod krinkom spontano nastalog procesa samozagrijavanja i samozapaljenja.

Međutim, treba upozoriti kako pri izgaranju (tj. *burnoj oksidaciji*) svih vrsta tvari celuloznog/-biljnog podrijetla, koje prirodno sadrže – u

vezanom ili nevezanom obliku – relativno vrlo male količine tvari anorganskog podrijetla, tj. mnogih *minerala/soli silicija, kalcija, natrija, željeza, magnezija, aluminija* itd., dolazi i do toplinskog razlaganja ili oksidacije i tih minerala do oksida (tj. do stvaranja *silicijevog oksida, kalcijevog oksida, natrijevog oksida, željezovog oksida, magnezijevog oksida, aluminijevog oksida* i inih oksida tih mikroelemenata u tvari) te da može (ponajčešće u *sijena*), ali i ne mora, doći do njihova koncentriranja i fizičkog povezivanja (zapravo *staljivanja*) u obliku svojevrsnog «požarnog klinkera», «požarne šljake» ili hrv. «*požarne*

Naravno da takvi, eventualno pronađeni, forenzično lako objašnjivo kao prirodno nastali, porozni staklasti ostaci u sadržaju dijela, većine ili svih, na više različitih pozicija pronađenih i izuzetih, forenzično pregledanih i kemijski ispitanih «*karboniziranih jezgri*» – ili najčešće pronađeni *unutar ili oko samog središta mase hrpe* opožarene tvari, gdje su temperature bile najviše i najdugotrajnije djelujuće – ne tvore dokaz o zloporabi stanovitog (npr. staklom obloženog ili staklom konstrukcijski opremljenog) *sredstva za podmetanje požara!*



Slika 23. Primjerak pronađene «požarne spržine sijena» («požarnog klinkera sijena») – porozne staklaste tvorevine sivozelene boje – nastale u dubini mase stoga sijena opožarenog pojavom samozagrijavanja i samozapaljenja

Figure 23. Sample of clinker - a porous glass-like substance of grey-green colour generated inside a self-heated and self-combusted haystack

spržine» (primjerice poznate tzv. «*požarne spržine sijena*», «*požarne šljake sijena*» ili «*požarnog klinkera sijena*»), posve prirodno nastale, porozne ili rahle, nepravilno oblikovane, staklaste mase – sive do zelene (ili sivozelene) boje – unutar tinja-juće užarene mase znakovitih «*karboniziranih jezgri*» (vidi sliku 23); (DeHaan, 2002). Priloženo mjerilo (slika 23) dimenzija ove tvorbe je u palcima: 1 in = 25,4 mm, što znači da je primjerak ove požarne spržine dužine oko 66 mm.

Rezultati istraživanja ovog fenomena, uočnog pri pojavama samozagrijavanja i samozapaljenja sijena, u odnosu na slučajeve požara sijena uzrokovane njegovim rubnim/površinskim (vanjskim) pripaljivanjem (namjernim potpaljivanjem, pa i zločinačkim paležom); (Hicks, 1998.) upućuju na zaključak kako se «*požarni klinker*» **ne može razviti pri izvana izvedenom paljenju naslaga ili hrpa sijena!!!**

Međutim, kako se «**požarni klinker**» **ne razvija** i **ne aglomerira** (ne nakuplja) **uvijek** – tj. u svim slučajevima samozagrijavanja i samozapaljenja sijena, pa **ni u svih vrsta** na taj način opožarenog **sijena** (što ovisi o vrstama/kulturama trava i mineralnom sastavu tla njihova rasta) – to se **izostanak pronalaska takvih specifičnih poroznih staklastih tvorevina** pri poslijepožarnom kriminalističkom sustavnom pretraživanju ostataka hrpe opožarenog sijena **nikako ne bi smio priori** (bez prethodne prisposobe s ostalim relevantnim materijalnim tragovima, laboratorijskim nalazima forenzičara i temeljito prikupljenim i provjerenim informacijama o uvjetima i okolnostima svakog takvog požara) **protumačiti kao nedvojben dokaz kako je požar podmetnut!!!**

Kriminalistički i forenzično **orijentacijski ključno važni prvi lakouočljivi makrotragovi**, koji nedvojbeno upućuju na opravdanost postavljanja i nužnost istraživanja (ujedno i) hipoteze o spontano nastalom procesu samozapaljenja, jesu **pronalazak ostataka materijala s većim stupnjem termičkih oštećenja u središtu hrpe ili naslaga samozagrijavanja i samozapaljenja sklone tvari, nego li na njezinim vanjskim površinama.**

Naime, prilikom nastanka požara čvrstih tvari celuloznog/biljnog podrijetla, iniciranih inom energijskom sastavnicom **uzroka** nastanka zapaljenja **gorive tvari** (primjerice djelovanjem **plamena, ugarka, iskre** itd.), vanjske površine materijala, izložene djelovanju plamena i tinjajućeg izgaranja, u pravilu, **trpe daleko veća toplinska oštećenja** od onih u dubini strukture materijala ili u dubini hrpe tvari. To je posljedica slabe toplinske vodljivosti svih čvrstih gorivih tvari pretežitog celuloznog i/ili inog ugljikovodičnog sastava, biljnog podrijetla. Za razliku od toga, prilikom požara nastalih **samozapaljenjem, požarno najintenzivnije degradirani materijali** najčešće se **zatiču u sredini mase tvari**, najčešće izolirani okolnim slojevima toplinski sve manje degradirane tvari. U vrlo velikim hrpama takvih tvari obično se pronalazi po **nekoliko, međusobno izoliranih, džepova tinjajuće mase tvari** («**užarenih jezgri**») iz kojih, kroz nastale «**požarne kanale**», na površinu povremeno naglo bukne plamen.

U spomenutim primjerima (sijeno u stogovima ili sjenicima, žito ili sjemenje uljarica u silosima ili

hrpama, hrpe ili bale pamučnog materijala i slični celulozni materijali) istaknuto je kako su takvi **tragovi termičke degradacije i oštećenja tvari redovito popraćeni promjenama boje**, od **prirodne svijetlosmede**, preko **tamnosome** do **crne**, uz **intenzivan jedak** (**nadražujuće peckajući, «užegao» miris**). Drži se kako spomenute promjene boje tvari, prema **smedoj boji**, ne nastaju samo od procesa **karbonizacije** organske tvari, već da su one ujedno i posljedica produkata kemijskih reakcija između **amino kiselina i degradiranih (redukcijskih) šećera**. Naime, poznato je kako takvim reakcijama, nazvanim «**Maillardovim**» **reakcijama**, nastaje tamnosmedi pigment (*Bowes, 1984.*). Zbog toga se takve promjene boje i pojava nadražujuće peckavog/užeglog mirisa u zraku, kojeg svjedoci, vatrogasci i kriminalisti često nazivaju «**kiselkastim**», najčešće i uočavaju prilikom slučajeva samozagrijavanja i samozapaljenja sušivim uljima natopljenih ili zamašćenih pamučnih tekstilnih materijala, hrpa uskladištenog sjemenja uljarica, hrpa uskladištenog sijena ili skladišta ine stočne hrane (npr. **silaže**). Navedene indicije nisu znakovite za slučajeve procesa samozagrijavanja i samozapaljenja tzv. «**pirofornog ugljika**» i inih čvrstih gorivih tvari sličnih svojstava!!!

Kako tijekom svakog procesa samozagrijavanja tvari, do trenutka nastajanja njezina samozapaljenja u žarištima tog procesa, dolazi do **postupnog i, potom, sve bržeg isparavanja prisutne vlage** iz uokolo svih takvih žarišta prisutnih slojeva mase materijala, nju svi eventualni očevici najčešće prepoznaju kao svojevrsni «**bijeli dim**». On, obično, postaje lako uočljiv oko sat vremena ili mnogo prije stvarnog nastanka samozapaljenja tvari. U podmaklim stadijima procesa samozagrijavanja i samozapaljenja, u tom dimu ima sve više **aldehida** (**pentanala, heksanala** itd.) i, moguće, **akroleina** te inih plinovitih i parnih produkata nepotpune toplinske razgradnje organske tvari, uočljivog posebnog nadražujuće peckajućeg (užeglog) mirisa.²⁴ Zbog toga je logično za očekivati kako bi svaka osoba, s normalno razvijenim osjetom mirisa, koja se nalazila nedaleko mjesta zbivanja takvog procesa, trebala i mogla relativno lako osjetiti takve znakovite upozoravajuće mirise, stanovito vrijeme prije uočljivog nastanka rasplamsanog zapaljenja tvari!!!

Neki pokusi, koji su provedeni s *prokuhanim lanenim uljem* upijenim u pamučnim krpama, smještenim u velikim kontejnerima za otpad, su pokazali kako se pri temperaturama okoline između 16 i 18 °C pojava dima i znakovitog užeglog mirisa javlja već u roku od jednog sata od trenutka početka pokusa, a samozapaljenje uz pojavu plamtećeg izgaranja nakon nekih 4 do 5 sati kasnije. Prilikom drugog niza pokusa, provedenih pri temperaturama okoliša između 12 i 14 °C, pojave samozapaljenja, kojima su prethodila nešto dulja razdoblja dimljenja, razvijale su se poslije 12 do 14 sati. Izmjerene temperature u masi takve samozagrijavajuće reagirajuće tvari, prilikom pojava procesa dimljenja, bile su reda veličine 100 °C.²⁵

Sljedeći niz pokusa s takvim uljem nauljenim pamučnim krpama, proveden zbog utvrđivanja njegove osjetljivosti na samozagrijavanje i samozapaljenje kada se krpe smjeste u kante za otpatke s poklopcem i izlože temperaturi okoliša od oko 15 °C, pokazao je kako je proces samozagrijavanja uslijedio odmah potom. Dim i užegao miris zamijećeni su pri istjecanju prvog sata vremena, pri temperaturama reda veličine 100 °C izmjerenim blizu središta mase tvari. Zapaljenje popraćeno pojavama plamena dogodilo se u nekoliko navrata u razdoblju između 4 i 6 sati, pri temperaturama reda veličine od oko 400 °C.²⁵

S obzirom da se uz spomenuti znakovit užegao miris postupno razvijaju i u okolnu atmosferu šire i stanovite vrste hlapljivih, **na suženje očiju podražavajućih, organskih kemijskih spojeva** (tzv. **lakrimatornih tvari**, po fiziološkim učincima vrlo sličnim policijskim i vojnim *suzavcima*), uočljivo suženje očiju u osoba koje su prve uočile i dojavile pojavu požara, koje su pritekale u pomoć ugroženima i/ili koje su pokušavale gasiti požar do dolaska vatrogasaca, ukazuje na prisutnost takvog znakovitog kemijskog procesa u masi tvari. Jedna od najpoznatijih *lakrimatornih tvari* je **akrolein**. On nastaje toplinskom razgradnjom *glicerola* iz *glicerida* (pri tzv. *temperaturi dimljenja* ulja i masti), prema ovoj jednadžbi:



Kako takve hlapljive organske tvari ne nastaju u kontrolirano vođenim kemijskim procesima,

kakve su primjerice katalizirane kemijske reakcije, one se ne mogu detektirati u slučajevima takvih vrsta izgaranja. Zato bi bilo dobro da osoba koja rukovodi očevitom od nazočne *stručne osobe* (ili od pristiglog *forenzičara* ili naknadno angažiranog stručnjaka specijaliste), koja jako dobro poznaje kemizam i kinetiku zbivanja kemijskih reakcija kriminalistički/forenzično sporne tvari, zatraži detaljno objašnjenje ili stručno raščlanjivanje pitanja koje se sve, kriminalistički i forenzično znakovite, posve ili vrlo specifične hlapljive i plinovite tvari mogu razvijati do trenutka nastanka tinjajućeg i plamtećeg samozapaljenja takve tvari.

Nažalost, prilikom istraživanja nezanemariva broja slučajeva požara samozagrijavanju i samozapaljenju sklonih vrsta tvari se nerijetko mogu pronaći i takvi materijalni tragovi koji, neiskusne kriminaliste i sve one koji se ne drže temeljnih općih počela kriminalistike, lako mogu dovesti u presudno štetnu zabludu. Jedan od takvih tragova može biti pronalazak znakovite užarene jezgre, nastale toplinskim (pripaljujućim) djelovanjem slučajno upale ili zlonamjerno ubačene užarene ili tinjajuće tvari u dubinu mase hrpe opožarene tvari, koja je bila relativno male gustoće (zbijenosti čestica, vlakana, zrna ili krupnijih komada tvari) i koja je, inače, dobro poznata po stanovitoj sklonosti samozagrijavanju i samozapaljenju, kao što su hrpe piljevine, tekstilnih vlakana, žitarica, sjemenki uljarica, strugotina drveta i ugljena. Ti *užareni* ili *tinjajući komadi* ili *čestice* mogu potjecati: od **spržine** (*šljake*) ili **otkrhnutih komadića** (koji su uokolo prštali prilikom – nepromišljeno požarno opasnog načina izvođenja – obližnjih radova *elektrolučnog zavarivanja, autogenog rezanja ili strojnog brušenja, bušenja i rezanja kovina* i inih *čvrstih strojnih ili građevinskih konstrukcijskih materijala*); od pojedinih termičkih, (elektro)kemijskih i mehaničkih tehnoloških operacija (pri procesu rada/proizvodnje); od otkrnutih komadića pregrijanih ležišta i osovina (elektro)motora (npr. iz postrojenja za zagrijavanje i ventilaciju) ili, lako moguće, od odbačenih (posve) neugašenih (opušaka) cigareta ili cigara (*Kulišić, 1998.*). Naime, vrlo lako se može dogoditi da pri upadanju (ili ubacivanju) u materijal relativno male gustoće one propadnu vrlo duboko u nutrinu mase hrpe ili naslaga gorive tvari. Njihovo požarno opasno toplinsko djelovanje (prvo karbonizirajuće, a potom i

tinjavo pripaljujuće) može potrajati satima, a u nekim slučajevima i danima, u takvom toplinski dobro izoliranom okružju od slojeva gorive tvari, tako da može proći podosta vremena prije negoli plinoviti produkti tinjajućeg izgaranja iz dubine naslaga prođu na površinu hrpe/naslaga gorive tvari i budu uočeni u njihovoj okolici!

Zbog otkrivanja možebitnih ostataka, izvana možebitno upalih ili ubačenih, komadića ili čestica užarenih stranih tvari nužno je obaviti pozorno frakcijsko prosijavanje svih pepeljastih i karboniziranih ostataka iz pronađenog i pažljivo raskrivenog žarišta požara (tj. iz ležišta *užarene jezgre*), uporabom i najfinijih sita. Tek takav postupak jamči da će, čak i sitnije, eventualno prisutne, čestice negorivog, nedogorjelog ili karboniziranog stranog materijala zaista biti i pronađene. Međutim, u takvom slučaju, svi ostali tragovi koji su znakoviti za pojave samozagrijavanja (i eventualnog samozapaljenja), kao što su prije opisane znakovite promjene boje (tj. pojave različito nijansiranih slojeva materijala *smede pigmentacije*) u slojevima tvari i znakovito «kiselkast»/užegao miris i okus opožarene mase tvari, neće biti pronađeni! Osim ako upala vrela/užarena tvar nije u svojem okružju inicirala kemijske reakcije samooksidacije ili ine spontane egzotermne kemijske procese koji su postupno doveli do pojave izvana iniciranog samoubrzavajućeg samozagrijavanja u hrpi tvari!!!

Ovomu treba dodati kako stanovita zapažanja zaposlenika, zaštitara ili vatrogasaca pri prvim pokušajima gašenja požara takvih vrsta tvari, također, mogu biti kriminalistički vrlo indikativna i korisna. Naime, zbog veće dubine u kojima se uobičajeno stvaraju *užarene jezgre* tvari, početni pokušaji gašenja požara primjenom vode, ugljičnog dioksida ili vatrogasnog praha iz prijenosnih vatrogasnih aparata obično rezultiraju samo trenutnim/vrlo kratkotrajnim uspjehom u gašenju plamena požara, nakon čega promptno (odmah) dolazi do njegova ponovnog buknuća.

U slučajevima požara većih masa takvih tvari (npr. u skladištima sijena ili ine stočne hrane), rušenje ili razbijanje naslaga dimeće i mjestimice plamteće mase tvari (pomoću bagera, traktora ili pod snažnim udarima punog mlaza vode za gašenje požara) te njezino naglo izlaganje svježem zraku vrlo lako može izazvati naglo

(deflagacijski brzo) buknuće koje može uzokovati pogibelj zbog brzog širenja požara na okolne gorive konstrukcije i materijale, te bitno otežati lokaliziranje širenja i konačno gašenje požara.

Takva pojava može se vrlo lako dogoditi i pri pokušajima spašavanja dijela (plamtećim) požarom, naizgled, nezahvaćene mase uskladištene tvari. Naime, pri pokušajima odvajanja plamenom nezahvaćene mase tvari od one plamenom zahvaćene (ili obrnuto), do tada neplamteća masa odvojene tvari može naglo buknuti zbog osiguranog pristupa svježeg zraka već postojećim tinjajućim (ili na temperaturu samopaljenja već predgrijanim) žarištima samozapaljenja prisutnim u dubini i tog naizgled požarom nezahvaćenog dijela mase tvari.

Pritom treba istaknuti kako opisana pojava nije uočena/uobičajena u slučajevima požara uzrokovanih slučajnim ili zlonamjernim pripaljivanjem vanjskih površina čvrstih, samozagrijavanju i samozapaljenju sklonih, uskladištenih tvari, bilo kojim od poznatih vanjskih izvora energije paljenja!!!

Zato o takvim i sličnim zapažanjima vatrogasaca, kao i o inim (prije i poslije spominjanim ili obrazlaganim) kriminalistički relevantnim zapažanjima, poglavito u slučaju zakašnjelog pristizanja kriminalista na požarište ili već njegovo žarište, treba čim prije obaviti obavijesne razgovore u vatrogasnoj postaji postrojbe koja je obavila intervenciju gašenja. U tom se smislu dragocjeno korisnima mogu pokazati i eventualno postojeće (dovoljno kvalitetne) videosnimke cijelog tijeka ili pojedinih dijelova vatrogasne intervencije.

Nakon određivanja *mjesta nastanka (ishodišta) požara* i vrlo vjerojatnog *mehanizma njegova nastanka* (a otuda i svih, forenzično i kriminalistički ključnih, sastavnica njegova *uzroka*), pred voditelja, stručnu osobu ili vještaka i ine članove ekipe za očevid nameću se mnogobrojne dalje zadaće kako bi se postupno posve rasvijetlili svi kriminalistički relevantni *uvjeti i okolnosti* nastanka požara, a iz svega toga konačno i pitanje *načina* njegova nastanka (kažnjivi propusti u provedbi propisanih mjera prevencije, zločinačka palež, *«viša sila»*,²⁶ *«piromanska»* palež, dječja igra izvorima energije paljenja ili ino).

Tako *stručna osoba* ili nazočni *vještak* ponajprije nastoji prisposobiti elemente vanjskog/fizičkog izgleda i naravi uzoraka kriminalistički spornog i nespornog materijala s dobro mu znanim ili raspoloživim opisima i podacima iz odgovarajućih stručnih (ili tehničkih) priručnika, odnosno iz računalnih baza podataka (pretraživanjem svojih ili pogodnih dostupnih institucionaliziranih elektroničnih baza), o svojstvima pojedinih vrsta tvari sklonih samozagrijavanju i samozapaljenju. Kako je fizički oblik spornog materijala od primarne forenzične važnosti, prvo se određuje njegovo *agregatno stanje*. Vidjeli smo kako je za naslage svih forenzično potencijalno spornih *čvrstih gorivih tvari* presudno važna njihova poroznost i sposobnost tvorenja čvrstog rahlog karboniziranog ili pepeljastog ostatka.

U slučaju eventualnih (inače vrlo rijetkih slučajeva) požara zbog možebitnog procesa samozagrijavanja unutar obujma nekih vrsta uskladištenih *gorivih kapljevine*, predmet interesa stručne osobe/vještaka je ponajprije mogućnost nastanka egzotermnih kemijskih reakcija pod utjecajem kontaminacije stanovitom tvari *katalitičkog* ili *«hipergolnog»* (iznimno snažnog) oksidacijskog djelovanja.

Forenzično istraživanje uzroka požara kao posljedice možebitnih požarno (i eksplozijski) opasnih kemijskih reakcija prije navedenih *«hipergolnih» reducensa* ili *oksidansa s kemijski im inkompatibilnim tvarima*, kao i istraživanje slučajeva samozagrijavanja i samozapaljenja *sušivim uljima* i *mastima bogatih* ili *kontaminiranih tvari*, moguće je provesti tek na osnovi eventualno pronađenih zaostalih makro ili mikro tragova takvih tvari (tj. kemijski neizreagiranih i/ili forenzično prepoznatljivih i njima nedvojbeno pripadajućih ostataka kemijskih produkata) i prepoznatljivih makrotragova ostataka njihovih znakovitih pakiranja. Polazeći od navedenih vrsta tragova, forenzičari će pokušati rekonstruirati i rasvijetliti kriminalistički ključne *uvjete* i *okolnosti* njihova požarom (ili eksplozijom) rezultirajućeg kontakta, a otuda i forenzički najvjerojatnijeg *uzroka* tog događaja.

Kako je već prije pokazano, kao i uskladišteno sijeno tako i sva spremišta, privremena odlagališta ili transportna pakiranja: sjemenja žitarica i

uljarica; sipke (brašnaste ili sitnozrnate) stočne hrane; svježih ili vlažnih biljnih materijala – kao što su pokošena trava s travnjaka i livada, biljna silaža od posebne vrste kukuruza za stočnu prehranu, usitnjeni biljni ostaci (ohlađeni ostaci *«pulpe»*, ohlađena mljevena *«komina»* ili *«sačma»*) iz industrijske prerade uljane repice, suncokreta, šećerne repe, soje, maslina; ugljena; svježih biljnih otpadaka (kompostane) itd., u slučaju požara, treba promatrati ponajprije sa stajališta veličine obujma ili mase svake vrste uskladištene tvari. Naime, kako se radi o tvarima u kojih se proces samozagrijavanja i samozapaljenja može pojaviti i zbivati samo onda kada se nalaze u dovoljno velikim hrpama, naslagama ili pakiranjima (kakvi nisu uobičajeni u sklopu stambenih objekata, izuzimajući podrumaska skladišta ogrjevnog ugljena), za pojave samozapaljenja je znakovito uglavnom dulje vrijeme skladištenja, držanja ili transporta (npr. prekooceanskim teretnim brodovima).

Zato svako kriminalističko i forenzično raščlanjivanje, razmatranje i prosuđivanje utjecaja relevantnog oblika i gabarita (obujma/promjera i visine hrpe ili naslaga), poglavito ukupne mase sporne tvari, u odnosu na proteklo vrijeme (tj. ukupno vrijeme skladištenja ili transporta), do trenutka pojave uočljivih indicija na samozapaljenje, mora uvijek poći od **značajki vrste i sastava tvari/materijala** za koji se sumnja kako se vjerojatno samozapalio. Uočeno je kako tu vrijedi, skoro opće, pravilo: što je veća masa stanovite tvari to je i dulje vrijeme u kojem dolazi do pojave lako razvidnih indicija glede uznapređovalog procesa samozagrijavanja i razvoja pojave samozapaljenja!!!

Kada se u obzir uzmu i čimbenici utjecaja vrste i sastava tvari/materijala, može se reći kako za sve procesu samozagrijavanja sklone tvari vrijedi opće pravilo kako je **vrijednost veličine mase tvari nužne da takav proces rezultira samozapaljenjem obrnuto proporcionalna razini (bio)kemijske nestabilnosti (reaktivnosti) tvari, a izravno proporcionalna vremenu potrebnom za nastanak samozapaljenja!!!**

Tako je poznato kako je u slučaju kataliziranih kemijskih reakcija (kakve se primjerice rabe pri obradi staklenih vlakana/fiberglassa polimernom smolom) dovoljna prisutnost vrlo malih masa kemijski reagirajućih tvari, jer su takve kemijske

reakcije (npr. polimerizacije) vrlo egzotermne i započinju već za nekoliko sekundi. Prije je pokazano kako sušiva ulja (primjerice prokuhano laneno ulje), u količinama od samo 25 do 50 cm³ (oko 28 – 57 grama), mogu samozagrijati porozne gorive tvari do samozapaljenja u roku od samo nekoliko sati. Samozagrijavanje kemijski aktiv(ira)nog drvenog ugljena može se zbivati u masi veličine od samo nekoliko kilograma, a samozapaljenje može nastupiti u roku od nekoliko sati do najdalje nekoliko dana.²⁷ Za samozagrijavanje do pojave samozapaljenja sijena, svježe trave ili stočne silaže potrebne su već bitno veće mase (100 kg ili veće) te dani ili tjedni vremena, čak i pri umjereno povišenim temperaturama ambijenta njihova držanja. Hrpe ili naslage ugljena, žitarica, uljarica, mineralnih gnojiva i sličnih samozagrijavanju sklonih tvari, koje se skladište u rasutom stanju, neće se samozagrijavati do samozapaljenja osim ako se ne drže u vrlo velikim količinama (reda veličine više tona) i to tjednima ili čak mjesecima.

Međutim, **što je viša početna temperatura uskladištenog materijala, razvoj procesa samozagrijavanja do samozapaljenja može teći znatno brže.**

U tom su smislu poznati mnogobrojni slučajevi požara nastalih samozapaljenjem zbog uskladištavanja vrućih (tj. nedovoljno ohlađenih) proizvoda, kao što su primjeri skladištenja: još vruće mljevane «*komine*» ili «*sačme*» kao ostatka iz proizvodnje ulja biljnog podrijetla; netom proizvedenih/nedovoljno ohlađenih *šperploča*, *lesonitnih*, *iveričnih* ili nekih vrsta gorivih *heraklitnih ploča*, *staklenim vlaknima armiranih polimernih ploča*, stanovitih tipova *čvrstih mineralnih gnojiva*; ili materijala ranije podvrgnutih stanovitim toplinskim procesima obrade (npr. prije spomenute *vrele posteljine* ili *vrelog pamučnog rublja*).²⁸

Premda su za razvoj procesa samozagrijavanja i pojave tinjajuće karbonizacije između slojeva spomenutih vrsta materijala/proizvoda (a potom i plamtećeg požara) potrebne prilično/relativno velike skladišne mase, u njima se **proces samozagrijavanja do samozapaljenja**, unatoč tako velikoj masi, **može razviti u relativno vrlo kratkom vremenu zbog njihove dovoljne predgrijanosti**, tj. **zbog postizanja uvjeta «preskakanja» nužnog – za nastanak**

samozapaljenja kritično važnog – dijela stadija početka inicijacije samoubrzavajućeg procesa samozagrijavanja koji je inače zapravo neostvariv ako se takav materijal uskladišti dovoljno ohlađen!!!

Naime, u mnogim takvim slučajevima obično nije nužno ni potrebno prethodno toplinsko degradiranje strukture tvari u takvih materijala kako bi dovoljno brz proces samoooksidacije tvari tek onda mogao nastupiti, jer se on zbiva sve brže i brže zahvaljujući početno dovoljno visokoj temperaturi vruće uskladištenog materijala i stvorenim povoljnim uvjetima (dovoljno zbijenim načinom njegova slaganja ili skladištenja) koji omogućava difuziju kisika iz zraka i istodobno dalje akumuliranje samoooksidacijom egzotermno oslobođane topline, tj. onemogućava dovoljno brzo hlađenje materijala. Zbog takve toplinske izoliranosti (i ograničene mogućnosti konvekcijskog odvođenja nagomilane topline u okoliš) cijeli proces lako može, nakon stadija dubinskog tinjajućeg izgaranja, završiti buknućem u plamenu cjelokupne mase tako složenog ili uskladištenog materijala.

Vidjeli smo kako postoje i takve vrste tvari ili materijala koji požarno opasno kemijski reagiraju čak i onda kada se pojave u vrlo malim masama i, naravno, daleko brže od inih vrsta materijala koji se uobičajeno skladište u velikim masama. Primjeri takvih tvari su tzv. «*hipergolne smjese tvari*» (smjese međusobno kemijski inkompatibilnih, kemijski nestabilnih, tj. kemijski vrlo egzotermno i vrlo brzo reagirajućih, tvari) ili porozne gorive tvari natopljene *sušivim uljima* ili *mastima*.²⁹

Kriminalističko i forenzično traganje za eventualnim indicijama, ostacima ili tragovima – forenzično može bitno ključne – prisutnosti, jakosti, trajanja, intenziteta i mehanizma *poticajnog (pokretačkog) toplinskog djelovanja nekog slučajnog* (pravodobno neuočenog, olako zanemarenog, neprepoznato ili nepredviđeno opasnog) vanjskog izvora topline, koji je mogao uzrokovati takvo natkritično lokalno ili obujamsko povišenje temperature u masi materijala, može predstavljati vrlo težak zadatak za istražitelje požara tvari sklonih samozagrijavanju i samozapaljenju. Naime, izvana dovedena, a može bitno poticajno forenzično relevantna, razina topline, kako je već predočeno, može

potjecati od prirodnih, svakodnevno prisutnih, vrlo uobičajenih, ali i od posve neuobičajenih, izvora toplinske energije.

To može biti posljedica:

- sunčanog i vrlo toplog ljetnog razdoblja;
- premještanja hrpa tvari iz relativno hladnog prostora skladištenja u neki drugi, bitno više temperature;
- topline stvarane radom obližnjeg postrojenja ili pojedinih vrućih (sastavnica) strojeva ili postrojenja u dodiru s naslagama ili hrpama spornog materijala ili sporne tvari;
- vrućih parovodnih, toplovodnih ili produktovodnih cijevi ili pregrijavanih kabela preopterećenih električnih instalacija preko/oko kojih je uskladišten sporni materijal itd.

Nisu rijetki ni slučajevi kada je vrući stakleni balon dugotrajnije upaljene električne žarulje bio uronjen u previsoko uskladištene hrpe sipkog ili vlaknastog gorivog ili toplinski/kemijski nestabilnog materijala (Kulišić, 1992., 1993.) ili kada je veći broj upaljenih rasvjetnih tijela veće snage iznad uskladištenih naslaga takvih tvari u slabo provjetranom (nedovoljno hlađenom) prostoru bio posve dovoljno snažnim izvorom toplinske energije za iniciranje procesa samozagrijavanja s rezultirajućim samozapaljenjem.

Posebno složen problem za kriminalističko istraživanje slučajeva požara ove skupine tvari mogu činiti oni požari koji su nastali prilikom već vrlo uhodanih i protupožarno provjereno dovoljno sigurnih procesa kontinuirane ili diskontinuirane industrijske ili poluindustrijske prerade, obrade, pakiranja, transporta, skladištenja, potrošnje ili ine uporabe takvih tvari, tj. kada u dotadašnjem radu i u redovitom upravnom nadzoru iskusnih inspektora iz *Inspektorata zaštite od požara* MUP-a RH nisu uočeni nikakvi problemi.

U svim takvim slučajevima kriminalisti, uz pomoć stručnih osoba ili vještaka, moraju provjeriti jesu li i kakve su eventualne promjene u procesu proizvodnje ili rada nedavno izvršene, odnosno je li došlo do kakvih odstupanja od normiranih ili uobičajenih procedura rada,

koje/koja su možebitno mogle/mogla utjecati na sigurnosno ključno važne čimbenike mogućnosti unutarnjeg generiranja i akumuliranja topline (tj. na *“kritične temperature ambijenta”*) i/ili geometrije (tj. na *“kritični polumjer”*) hrpa ili inih drugačijih oblika nasipanja, slaganja ili pakiranja sporne vrste tvari (ključnih za osiguravanje dovoljno brzog hlađenja unutar mase generirane topline).³⁰ Naime, vidjeli smo kako se *promjene temperature ambijenta (T_a)* skladištenja, transporta ili obrade takvih tvari u obliku sirovina ili gotovih proizvoda, poglavito one u pravcu viših temperatura rada, predvidljivo odražavaju na *polumjer njihovih hrpa* ili na *visinu njihovih naslaga (r)* nužnih za siguran rad, skladištenje ili transport.

Još zakučastiji problem za kriminalističko i forenzično istraživanje takvih slučajeva požara mogu činiti situacije razvoja procesa samozagrijavanja i samozapaljenja kojima je prethodilo možebitno relativno naglo snižavanje temperature ambijenta kada je, primjerice, sporna hrpa tvari u duljem razdoblju držana na relativno visokoj temperaturi, a potom premještena u/na prostor relativno mnogo niže temperature.

Kako takva promjena za posljedicu može imati kondenzaciju vlage unutar hrpe ili naslaga tvari i unutar eventualno slabo provjetranog skladišnog ili transportnog prostora, to može inicirati stanovite (prije objašnjene) egzotermne reakcije, poglavito u hrpama ili naslagama nekih vrsta ugljena fosilnog podrijetla, drvenog ugljena, žitarica, uljarica i stočne hrane koji su vrlo osjetljivi na naglo (putem kondenzacije postignuto) povećanje vlažnosti tvari.

Jednako tako, i sve vrste promjena u uvjetima obrade, prerade i načina rada, kao što su promjene u temperaturi ulaznih sirovina i/ili temperatura njihove obrade/prerade u procesu proizvodnje, ili bilo kakve promjene u količinama doziranja periodično (diskontinuirano) tehnološki procesuiranih materijala (poglavito u smislu njihova povećavanja u odnosu na prije uobičajene količine), mogu djelovati poticajno na iniciranje reakcija samozagrijavanja u masi tako obrađene tvari.

Naime, stanovite – poslovodstvu tvrtke ekonomične ili njihovim tehnolozima proizvodno djelotvorne (ali sigurnosno nedovoljno ispitane i proanalizirane), čak i naizgled vrlo male –

promjene u izvorima ili načinima opskrbe ili nabave sirovina, u recepturama ili procedurama proizvodnje (odnosno u tehnološkom *hardveru* i/ili *softveru*) mogu lako biti pogubne za opstanak tvrtke zbog sveuništavajućeg požara uzrokovanog samozapaljenjem.

Sirovine, nabavljene iz novih izvora ili transportirane na drugačiji način, mogu zbog toga sadržavati stanovita nova ili prekomjerna uobičajena onečišćenja (*kontaminante*) ili samo tragove stanovitih vrsta tvari koje mogu inicirati egzotermne reakcije s kakvima se nije prije (do takve promjene) susretalo.

Promjene u proceduri pokretanja ili zaustavljanja rada pojedinih tehnoloških jedinica ili cijelih postrojenja mogu utjecati na nužan stupanj hlađenja/provjetravanja obrađivanog materijala, poglavito u slučaju kontinuirano vođenih tehnoloških operacija, kada gotovi proizvodi izlaze iz procesa stanovitom predviđenom stalnom brzinom i kada promijenjena procedura zaustavljanja procesa može uzrokovati samozagrijavanju pogodujuću pojavu prekomjernog zadržavanja ili nakupljanja dijela mase proizvoda unutar tehnološke jedinice.

Čak i u slučajevima kada tvari ili materijali sklone samozagrijavanju i samozapaljenju odleže u skladištu dulje nego li je to u dotadašnjoj praksi skladištenja (bez opasnih incidenata sa samozagrijavanjem) bilo uobičajeno (ili najdulje), takvo izvanredno produljeno razdoblje skladištenja može biti kobno za postizanje kritičnih uvjeta u masi tvari povoljnih za razvitak procesa samozagrijavanja.

Naime, ako se prije takav materijal redovito (u stanovitim relativno kraćim razdobljima) uklanjao, odvio ili raskrčivao i raspoređivao na više inih mjesta, proces spontanog egzotermnih reakcija se u njegovoj masi najvjerojatnije razvijao, zbivao i gasio neprimjetno – prije navršavanja razdoblja (u *1. dijelu* ovog rada opisanog) procesa «*indukcije samozagrijavanja*» – bez postizanja *kritičnih uvjeta* (tj. *temperature* i eventualno *koncentracije* možebitno *katalitički djelujućih produkata*) za nastupanje procesa samozagrijavanja (vidi ponovno *slike 3 i 6 - 11*). Međutim, ako zbog štrajka zaposlenih, ili nastanka nekog prekida u procesu transporta ili u distribuciji tvari, dođe do kašnjenja u njezinoj isporuci iz skladišta (i pritom još i do eventualnog

dodatnog gomilanja zaliha) spomenuti *kritični uvjeti* za razvoj procesa samozagrijavanja mogu biti vrlo lako ispunjeni!

Kako se pri svakom pražnjenju skladišnih silosa ili pri raskrčivanju hrpi ili naslaga tvari iz podnih skladišta zaostali ili rasuti dio mase tvari obično sakuplja (pomete) i na dulje vrijeme odlaže na nekom posebnom mjestu ili na nekoj posebnoj hrpi svih takvih pometenih ostataka tvari ili tzv. «*restlova*» (do odluke o prodaji po nižoj cijeni, o eventualnom kompostiranju ili o uništavanju), takva hrpa, malo pomalo, može narasti u dovoljno veliku hrpu *natkritično velikog polumjera* (osobito lako zbog bitno višeg sadržaja skladišnih nečistoća).

Sve, relativno ne tako davno (do dvije – tri godine dana prije nastanka istraživanog slučaja samozapaljenja) provedene, tehničke/tehnološke promjene ili izvedene tehničke prilagodbe na postrojenju ili na pojedinim tehnološkim jedinicama (koliko god one, naizgled, bile male), poglavito one improvizirane (bez odgovarajuće projektantske i izvedbene dokumentacije i/ili bez nužnih stručnih odobrenja nadležnih tijela upravnog nadzora) i one koje su mogle utjecati na stupanj provjetravanja i brzinu hlađenja tvari, moraju biti posebnim predmetom zanimanja kriminalista i angažiranih vještaka (najbolje neovisnih, tj. eventualnim osobnim ili skupnim interesom neupletenih, stručnjaka za projektiranje, nadzor izgradnje i održavanje postrojenja takvog tipa).

ZAKLJUČAK

Radom je pokazano kako svaki slučaj samozapaljenja nastaje kao konačna (možebitno posve slučajna) štetna rezultanta ishoda mnoštva složenih interrekcija (međusobnih djelovanja), koje su se zbivale unutar sustava sastavljenog od niza sigurnosno, preventivski, kriminalistički i forenzično ključno važnih *sastavnica čimbenika uzroka, uvjeta i okolnosti nastanka požara*, u vrlo osjetljivom unutarnjem (strukturnom) i međusobnom suodnosu.

To su čimbenici, koji – istodobno i na istom mjestu – moraju biti ispunjeni ili ostvareni u bilo kojem slučaju nastanka i nesmetanog razvoja

požara: prisutnost gorive tvari, razvijanje topline koju tvar oslobađa procesom (samo)oksidacije, uvjeti prozračivanja ključni kako za dotok kisika tako i za odvođenje topline i plinovitih produkata oksidacije te **vremena** inicijalnog (poticajnog) djelovanja i nesmetanog zbivanja svih relevantno utjecajnih interakcija.

Zbog iznimno osjetljivih međuodnosa i međuovisnosti između mnogih radom pobrojanih i opisanih utjecajnih elemenata sastavnica koje tvore spomenute čimbenike, kao i zbog vrlo osjetljivih međuodnosa i međuovisnosti koji vladaju među tim čimbenicima, sa čime se nerijetko susreće pri istraživanjima slučajeva šteta od samozagrijavanja (i samozapaljenja), nedovoljno stručan, nedovoljno sveobuhvatan i nedovoljno strpljiv i temeljit kriminalistički ili ino istražiteljski rad na mjestu takvog događaja, poglavito na zgarištima sveuništavajućih požara, lako može rezultirati ključnim previdima, zabudama i konačnim istražiteljskim neuspjehom.

Iz svega prije iznesenog je razvidno koliko je, pri obavljanju kriminalističkog (a potom i eventualnog osiguravateljskog istražiteljskog) očevida i u kasnijem operativnom radu na takvim slučajevima, posebno važno i korisno sustavno i pažljivo prikupljati i razmatrati ujedno i mnogobrojne ino iznimno korisne informacije i podatke o načinima, uvjetima i okolnostima izvedbe procesa proizvodnje, skladištenja, transporta i/ili ino rada u štetom pogodoenom, odnosno opožarenom, objektu/prostoru i u svezi s njim.

Tek kada se te spoznje, uz pomoć tumačenja stručnih osoba i vještaka, znalčki prisposode s nalazima i mišljenjima dobivenim laboratorijskim (i eventualnim poligonskim) ispitivanjima i vještačenjima na uzorcima i inim tragovima službeno izuzetim prilikom očevida te s ostalim tragovima fiksiranim pri očevidu, može se dobiti jasna slika *je li, kako i zašto je* do eventualne pojave *samozagrijavanja* i *samozapaljenja* uopće došlo. Do tada, istražiteljska/kriminalistička hipoteza o možebitnom samozagrijavanju i samozapaljenju kao uzroku nastale štete/požara ne bi smjela biti olako prihvaćena ni odbaćena!

Inače općeuočljiva i zabrinjavajuća pojava sklonosti u dijela kriminalista (dijem svijeta, pa i u nas) da mnoge primjere slučajno nastalih požara olako/površno okvalificiraju kao «*samozapaljenja*», samo zato jer nisu imali dovoljno stručnog znanja, ili se nisu dovoljno potrudili, da pronađu i identificiraju moguće izvore energije paljenja, požarno opasne tvari i/ili eventualno poduzimane požarno općeopasne ljudske radnje ili aktivnosti, prije/uoči nastanka istraživanog slučaja požara, odnosno samo zato jer nisu uspjeli pronaći razvidne tragove ili relevantne indicije spomenutog, nije – najblaže rečeno – profesionalno i etički korektna. Ponajprije prema nesretnim žrtvama takvih požara, svojim sugrađanima kojima svojim radom moraju služiti i svim poreznim obveznicima koji ih plaćaju za profesionalan odnos i stručan rad. Naime, ako se tvari, tvoriva i procese u opožarenom objektu/prostoru nije nikako moglo posebno okarakterizirati kao one podložne ili pogodne za razvoj procesa samozagrijavanja i nastanak samozapaljenja – pod uobičajeno vladajućim *uvjetima* i redovito prisutnim *okolnostima*, onda je pošteno priznati trenutnu objektivnu kriminalističku nemoć u svakom takvom slučaju i *način nastanka* požara proglasiti «*kriminalistički neutvrđenim*», dok god to – daljim znanstvenim (forenzičnim) napretkom, boljom tehničkom opremljenošću i višom razinom znanja i vještina u istražitelja – ne postane objektivno mogućim.

Naime, kao što je prije razvidno pokazano, samozagrijavanje i samozapaljenje skoro se nikada ne događa *trenutno* (izuzimajući u praksi iznimno rijetke slučajeve tvari sklonih *spontanom samopaljenju*), a vrijeme potrebno za razvoj takve pojave, do nastanka požara, je najuže vezano za *mase* i, danas, uglavnom dobro poznate i razjašnjene, *mehanizme zbivanja* bioloških, fizikalnih i/ili kemijskih *promjena/reakcija*, u dobro nam poznatih mogućih (bio)kemijskih *sudionika/reaktanata*. Osim toga, pojavi tinjajućeg i plamtećeg izgaranja u slučajevima samozagrijavanja i samozapaljenja uvijek prethodi *razdoblje razvijanja plinovitih produkata degradacije tvari*, vrlo znakovitih *mirisa* i *dima*, koje može pravodobno osjetiti/otkriti bilo tko, ako se nađe u blizini ili čak i u širem krugu oko mjesta zbivanja takvih pojava, najčešće puno prije razvidnog buknuća plamenom požara!!!

LITERATURA

Linville, J.L. et al.: *Industrial Fire Hazards Handbook*, 2nd Edt., National Fire Protection Association, Quincy (MA), 1984.

Lucas, A.: *Forensic Chemistry and Scientific Criminal Investigation*, 4th reprinted ed., Edward Arnold and Co., London, 1948.

Maehly, A., Strömberg, L.: *Chemical Criminalistics*, Springer-Verlag, Berlin, 1981.

Marjanović, S.: *Istraživanje uzroka požara; Priručnik za kadrove na poslovima zaštite od požara*, Centar za unapređenje zaštite od požara, Vatrogasni školski centar, (samo za internu uporabu), Zagreb, 1975.

Marshall, V.C.: *Major Chemical Hazards*, Ellis Horwood Ltd., Chichester, 1989.

Medard, L.A.: *Accidental Explosions, Vol. 1 i 2*, Ellis Horwood Ltd., Chichester, 1989.

Miščević, Lj. et al.: Sigurnost u okolišu i graditeljstvu, *Zbornici radova s godišnjih savjetovanja*, Sun arh, Zagreb, 1990. – 2004.

MUP RH, Obvezne upute o postupanju inspektora zaštite od požara na očevidu požara, Ministarstvo unutarnjih poslova RH, *Cirkularni akt br. 511-01-90-42872/1-1995.*, Zagreb, 14. rujna 1995.

MUP RH, *Postupak na mjestu događaja eksplozije*, Naputak o radu, Sektor kriminalističke policije, Odjel za suzbijanje terorizma, Zagreb, 1997.

MUP RH, *Obvezatni naputak o postupanju inspektora zaštite od požara na očevidu požara*, Ministarstvo unutarnjih poslova RH, *Cirkularni akt br. 511-01-90-29386/2-1999.*, Zagreb, 16. travnja 1999.

Nagy, J. i Verakis, H.C.: *Development and Control of Dust Explosions*, Dekker, New York, 1983.

NFPA 921: *Guide for Fire and Explosion Investigations*, National Fire Protection Association, Quincy (MA), 2004.

Noller, C.R.: *Kemija organskih spojeva*, Tehnička knjiga, Zagreb, 1972.

Novak, Z., Značaj i uloga tragova u otkrivanju uzroka požara, u: *Zbornik radova sa Savjetovanja*

«Značaj i metode utvrđivanja uzroka požara» i «Inovacije u projektiranju zaštite od požara i eksplozija», Organizacijski odbor Savjetovanja, Servis Saveza udruženja pravnika Jugoslavije, Beograd, prosinca 1985.g., str. 117. – 127.

Nugroho, Y.S., McIntosh, A.C., Gibbs, B.M.: *The spontaneous combustion tendency of blended coal*, Department of Fuel and Energy, University of Leeds i Department of Mechanical Engineering, University of Indonesia, Jakarta (Internet, svibnja 2004.).

Nugroho, Y.S., McIntosh, A.C., Gibbs, B.M.: Using the crossing-point method to assess the self-heating behaviour of Indonesian coals, *The 27th International Symposium on Combustion*, The Combustion Institute, 1998., str. 2981-2989.

O'Connor, J.J.: *Practical Fire and Arson Investigation*, Elsevier, New York, 1987.

Pačelat, R., Zorić, Z.: *Istraživanje uzroka požara*, Zavod za istraživanje i razvoj sigurnosti d.d., Zagreb, 2003.

Pavišić, B.: *Kazneni zakoni*, Pravni fakultet u Rijeci, Rijeka, 2001.

Pawlowski, F.: Vještaci u slučajevima požara, *Izbor*, 3 (1989.) 283-289

PCS-AIA, Arson Insurance Investigation, u: *Criminal and Civil Investigation Handbook*, McGraw - Hill, New York, 1993., s. 44-1 – 44-24.

Pesocki, L.: Lociranje centra požara na osnovu metode selektivnosti osigurača i oštećenja električne instalacije, u: *Zbornik radova sa Savjetovanja «Značaj i metode utvrđivanja uzroka požara» i «Inovacije u projektiranju zaštite od požara i eksplozija»*, Organizacijski odbor Savjetovanja, Servis Saveza udruženja pravnika Jugoslavije, Beograd, prosinca 1985.g., str. 99. – 107.

Petrovich, W.P.: *A Fire Investigator's Handbook: Technical Skills for Entering, Documenting and Testifying in Fire Scene Investigation*, Charles C Thomas, Springfield, 1998.

Pohl, K.D.: Die Untersuchung von Bränden, u: *Handbuch der Naturwissenschaftlichen Kriminalistik – Unter besonderer Berücksichtigung der forensischen Chemie*, Kriminalistik Verlag, Heidelberg, 1981., str. 111 – 251.

Powell, W.: *The Anarchist Cookbook*, Barricade Books, Secaucus, N.J., 1989.

Ramplung, K.: *Fire and Explosion Investigation (Essay Assignment): Spontaneous Combustion of Drying Oils as a Fire Cause*, Internet, 1. svibnja 2000., str. 3. i 6.

Rac, M.: *Ulja i masti: Sirovine, kemija i tehnologija jestivih ulja i masti*, Poslovno udruženje proizvođača biljnih ulja, Beograd, 1964.

Rapić, V.: *Nomenklatura organskih spojeva*, Školska knjiga, Zagreb, 1995.

Ražnjević, K.: *Fizikalne veličine i mjerne jedinice Međunarodnog sustava (SI)*, Nakladni zavod Znanje, Zagreb, 1985.

Rhodes, H.T.F., *Forensic Chemistry*, 2nd Edt., Chapman and Hall Ltd., London, 1946.

Risović, D.: *Eksplzivni gorivo – zrak*, *Hrvatski vojnik*, travanj 1996., str. 22-26.

Ritz, J.: *Uskladištavanje ratarskih proizvoda (knjiga 1 i 2)*, pbi d.o.o., Zagreb, 1997.

Roger, J., Helm, L.: *Anarchy Cookbook: Version 2000*, Internet, 1997.

Saferstain, R.: *Criminalistics – An Introduction to Forensic Science*, 3rd Edt., Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs, 1987., str. 307-308.

Sawade, D.: *Spontaneous Thermal Ignition and Applications*, Javna prezentacija u sklopu BSc Honours Seminar, School of Mathematics and Statistics, UNSW at ADFA (Internet, svibnja 2004.).

Schneider, D.: *Brandursachenermittlung*, Kohlhammer, Stuttgart, 1998.

Shields, T.J., Silcock, G.W.H.: *Buildings and Fire*, Longman Scientific and Technical, Harlow, 1987.

Skupina autora: *Criminal and Civil Investigation Handbook*, McGraw-Hill, New York, 1993.

Skupina autora: *Postupci izuzimanja materijalnih tragova*, Centar za kriminalistička vještačenja «Ivan Vučetić», Ravnateljstvo policije MUP-a RH, Zagreb, 2001.

Skupina autora: *Sachkundiger für die Entschärfung unkonventioneller Spreng- und Brandvorrichtungen*, 17. Arbeitstagung für

Entschärfer – Protokol, Bundeskriminalamt, Weimar/Thüringen, 25.-29. 11. 1996. (samo za službenu uporabu).

Skupina autora: *Sachkundiger für die Entschärfung unkonventioneller Spreng- und Brandvorrichtungen*, 19. Arbeitstagung für Entschärfer – Protokol, Bundeskriminalamt, Leipzig/Sachsen, 22.-26. 06. 1998. (samo za službenu uporabu).

Smart, R.C.: *The Technology of Industrial Fire and Explosion Hazards*, 1. i 2. Vol., Chapman and Hall, London, 1947.

Stipanić, Lj.: *Protupožarna zaštita na brodovima*, Pomorski fakultet u Rijeci, Rijeka, 1994.

Stolt, F.D.: *New Test Methods for Spontaneous Ignition Phenomena of Unsaturated Vegetable Oils*, National Association of Fire Investigators / NAFI, Internet, lipanj 2004.

Stull, D.R.: *Fundamentals of Fire and Explosion*, Corporate Safety and Loss Prevention, The Dow Chemical Company, Midland, 1976.

Sučeska, M.: *Pirotehnička sredstva*, Ministarstvo obrane RH, Glavni stožer OS RH, Zagreb, 1999. (klasificirano kao «vojna tajna – povjerljivo»).

Sun Zi: *Napad vatrom*, u: *Umijeće ratovanja*, Globus, Zagreb, 1982., str. 187-188.

Swab, S.E.: *Incendiary Fires: A Reference Manual for Fire Investigators*, Robert J. Brady Company, Bowie, 1983.

Swanson, C.R., Chamelin, N.C., Territo, L.: *Arson Investigation*, u: *Criminal Investigation*, 6th Edt., McGraw-Hill, New York, 1996., str. 660-692.

Swanson, C.R., Chamelin, N.C., Territo, L.: *Arson and Explosives Investigation*, u: *Criminal Investigation*, 8th Edt., McGraw-Hill, New York, 2003., str. 652-694.

Šečković, V.: *Improvizovane mine*, SSNO, Vojna štamparija, Beograd, 1972.

Šef, F., Olujić, Ž.: *Projektiranje procesnih postrojenja*, SKTH/Kemija u industriji, Zagreb, 1988.

Škarec, Ž.: *Improvizacije*, Ministarstvo obrane Republike Hrvatske, Zapovjedništvo operativne zone Zagreb, Zagreb, 1992. (klasificirano kao «vojna tajna»).

TM 31-201-1 (Technical Manual No. 31-201-1), Unconventional Warfare Devices and Techniques: Incendiaries; Headquarters, Department of the Army, Washington, 1966.

Todorović, P.: Uzroci požara na postrojenjima za zagrijavanje, u: Zbornik radova sa Savjetovanja «Značaj i metode utvrđivanja uzroka požara» i «Inovacije u projektiranju zaštite od požara i eksplozija», Organizacijski odbor Savjetovanja, Servis Saveza udruženja pravnika Jugoslavije, Beograd, prosinca 1985.g., str. 83. – 97.

Tsuchiya, Y., Sumi, K.: Spontaneous Ignition, *Canadian Building Digest*, 189., September, 1977.

Winzenfried, U.: Polizeliche Massnahmen bei Serienbrandstiftungen, *Kriminalistik*, 4 (1990.) 217-219.

Yoder, J. A.: *Primer on Spontaneous Heating and Pyrophoricity*, DOE-HDBK-1081-94, U.S. Department of Energy, Washington, December 1994., Internet, svibnja 2004., str.11.

Yoshida, T.: *Safety of Reactive Chemicals*, Vol. 1, Industrial Safety Series, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, 1987.

Zoom, Anarchist's Home, Internet (zoom@gnu.net), 1997. ili novije inačice.

Zoom, The Big Book of Mischief, Internet (zoom@gnu.net), 1997. ili novije inačice.

Zoom, The Terrorist's Handbook, Internet (zoom@gnu.net), 1997. ili novije inačice.

GENERAL CHARACTERISTICS OF SELF-HEATING AND SELF-COMBUSTION OF SUBSTANCES (PART III)

SUMMARY: The paper presents the results of a systematic analysis of the types, characteristics and common factors of very complex and interdependent physical, biological and/or chemical and thermodynamic mechanisms responsible for the initiation of self-heating and self-combustion of a multitude of substances. The results reflect a careful analysis and comparison of a wide range of available recent studies that deal theoretically and/or practically with all or with certain aspects of these phenomena. The paper reflects the traditional and recent experience and knowledge gained from the international and Croatian production, storage, transport, distribution and inspection practises of damage and loss prevention which is due to deterioration in product quality or to fire and explosion incidents. The analysis is particularly supported by the experiences of the Croatian and international criminal, forensic, insurance, internal industrial and other investigations into numerous incidents of fire and explosion caused by these phenomena. The paper also presents some applications and merits and shortcomings of theoretical and semi-empirical analyses of key self-heating parameters founded originally in the Frank-Kamenetski theoretical model and the somewhat more recent crossing point method. A substance list assists in the preliminary rapid identification of groups and types of substances (materials) known for their proneness to self-heat and self-combust. The paper also gives a list of major misguided behaviours that generally and/or specifically favour such processes.

Keywords: fire, self-heating, self-ignition, spontaneous heating of goods in stock, spontaneous ignition, spontaneous combustion, reactive material hazards, pyrophoricity, generation of pyrophoric material, self-heating (self-ignition) hazardous processes and operations, auto-oxidation, potential for self-heating, hazards evaluating, Frank-Kamenetskii theory, geometric-scaling tests, oven-basket tests, crossing point method, general self-ignition prevention failures, list of substances liable to spontaneous combustion, fire investigation, forensic investigation, evidence of spontaneous combustion

Subject review
Received: 2005-08-23
Accepted: 2006-02-15

FUSNOTE

¹ Dovoljno **povišena temperatura** može potaknuti takvo ubrzavanje procesa samooksidacije i pojavu razvoja procesa samozagrijavanja, do pojave samozapaljenja, čak i u nekim gorivih tvari koje inače nisu sklone takvim pojavama pri normalnim temperaturama. To je posebno znakovito za poslije opisane slučajeve kao što su *penasta guma* i *pamučna posteljina, stolnjaci i rublje* kada se odlažu još prevrući u hrpe, naslage ili pakirne košare, nakon procesa prisilnog (ubranog) sušenja zagrijavanjem u sušionicima.

² Sadržaj ili **ravnomjernost sadržaja vlage** u tvari može imati nekoliko, posve različitih ili posve suprotnih, utjecaja na procese samozagrijavanja i samozapaljenja: kao reaktant u stanovitim egzotermnim kemijskim reakcijama; kao preduvjet za aktiviranje enzima koji ubrzavaju razvoj egzotermnih biokemijskih procesa (*disanja*, životnih funkcija) u plodovima/sjemenju uljarica i žitarica; kao preduvjet za razvoj i rast mikroorganizama u biološkim reakcijama (kao kod vlažnog sijena i sličnih tvari biljnog podrijetla); kao izvrstan rashladitelj tvari zahvaćenih procesom samozagrijavanja kemijske naravi (zahvaljujući dobroj sposobnosti oduzimanja topline okolnim tvarima za vlastito isparavanje), tj. odvođenjem egzotermnim reakcijama oslobođenu toplinu u okoliš; kao uzročnik spontanog zagrijavanja mase tvari zbog egzotermne naravi procesa upijanja (*sorpcije*) kapljevite vode u vrlo suha porozna tvoriva (kao kod presušenog sitnozmatog drveta ili ugljena); kao svojevrсни aktivator požarno opasnog katalitičkog djelovanja «*piroformog željeza*» u procesu nastanka samozapaljenja naslaga nekih vrsta i tipova ugljena itd. **Nedovoljna vlažnost/presušenost proizvoda** također može biti povoljnim čimbenikom za razvoj procesa samozagrijavanja (i samozapaljenja) kao u slučaju prerahle (nedovoljno zbijene) *silaze*, u slučaju *koštanog* i *ribljeg brašna, pivarskog ječma*, stanovitih vrsta nedovoljno ohlađenih krovnih izolacijskih tvoriva tipa *impregniranog filca* i *terpapira* – vidi Tablicu 1!).

³ Samozagrijavanju i samozapaljenju su najsklonija **fino usitnjena i vlaknasta goriva tvoriva** zbog njihove bitno slabije toplinske vodljivosti od istovrsnih tvoriva koji su kompaktne strukture (akumuliranje topline u praškastim i vlaknastim materijalima je znatno lakše). Osim toga, kako se reakcije samooksidacije zbivaju na samoj površini tvari izložene kisiku iz zraka, usitnjavanjem čestica tvari postiže se ukupno veća površina tim reakcijama izložene površine tvari. Zbog toga se praškaste gorive kovine mogu relativno lako i pripaliti, čak i nekim slabijim vanjskim izvorom energije paljenja, a krupniji komadi kovine ne (osim *magnezija*)! Posebno je poznata sklonosti samooksidaciji svih *svježe pirolizom rasušenih* i *karboniziranih* tvoriva celuloznog podrijetla!

⁴ Brzina opskrbe svježim zrakom je ključna za nastavak i dalji razvoj/ubrzavanje već započetog procesa samooksidacije omogućenog početnom prisutnošću zraka između čestica, komadića, vlakana i/ili komada tvari. Što je ta brzina veća, proces samooksidacije je brži. Da bi uopće moglo doći do pojave i napredovanja procesa samozagrijavanja, unutar mase tvari opskrba svježim zrakom se ipak mora zbivati dovoljno malom brzinom kako konvekcijski način prijenosa i odvođenja topline, tj. strujanjem (uz onaj kondukcijski – putem toplinske vodljivosti čvrstih čestica tvari) ne bi bio dominantan u odnosu na brzinu samooksidacijom egzotermno generirane količine topline unutar mase tvari. Na to, naravno, ključno utječe **gustoća pakiranja** čestica, komadića, vlaknastih struktura i/ili komada unutar hrpa, naslaga ili pakirnih obloga mase tvari.

⁵ U slučaju relativno slabije ili nedovoljne difuzije kisika kroz poroznu masu tvari, koncentracija raspoloživog kisika u njezinim porama će biti manja od 21% vol. To rezultira smanjenjem brzine oksidacije, ali i rastom vrijednosti veličine prije opisane **kritične Frank-Kamenetskijeve značajke** (δ_c). Vrijednost veličine **prividne energije aktivacije** (E ili E_a) se ne mijenja padom ili rastom raspoložive koncentracije O_2 .

⁶ Tako se, primjerice, u novije doba, problem sprečavanja samozapaljenja i lakozapaljivosti tomu posebno sklonih, prehrani nenamijenjenih količina, nekih *sušivih ulja*, kao što je *laneno*, rješava dodatkom tzv. **protupožarnih retardanata**. To su, obično, stanoviti pogodni *halogenizirani spojevi* u kombinaciji s *fosforovim spojevima* ili ini kemijski dodaci koji su topljivi u uljima ili u tim uljima kompatibilnim otapalima nižih temperatura vrelišta, koji se u relativno vrlo malim količinama dodaju nekim industrijskim proizvodima na osnovi sušivih ulja (npr. bojama i zaštitnim premazima) i koji ne štete kakvoći takvih proizvoda i njihovoj komercijalnoj namjeni (npr. viskoznosti, tvrdoći, čvrstoći, brzini sušenja, boji, transparentnosti, otpornosti na utjecaj topline ili svjetlosti, postojanosti itd.); (*Rampling, 2000.*).

⁷ Ponovimo: u **samozapaljive tvari** ubrajaju se sve one koje se **samozapaljuju** zbog **postupnog spontanog zagrijavanja (samozagrijavanja)**, a u **spontano zapaljive** one koje se skoro **trenutno** ili **vrlo brzo** (s normnog stajališta, u vremenu do 5 min.) **samopale** već **pri dodiru sa zrakom (piroformost tvari)** – vidi ADR podskupinu tvari **4.2**. Može se reći kako je **piroformost** posebno svojstvo («*poseban slučaj*») **hipergolnog** reagiranja nekih gorivih tvari jer je kao požarno opasna oksidacijska tvar dovoljan već samo **kisik prisutan u atmosferi**. Prema tomu, «**piroforne tvari**» tvore posebnu podskupinu **hipergolnih gorivih tvari** koje obuhvaćaju i one tvari koje ne reagiraju burno (ili eksplozivno) samo s velikim ili većim koncentracijama kisika ili ine jake oksidacijske tvari, već i s kisikom iz zraka. Mnoge od njih su poznate odavna. Tu pripada, požarno vrlo opasna čvrsta tvar, **bijeli fosfor**, koji dovoljno usitnjen i osušen (od otapala ili vode) ubrzo počinje tinjati i burno izgarati žarom. Stanoviti **plinovi**, kao što su **silicijev** i **borov hidrid**, se spontano samopale u zraku.

Najopasnija vrsta **prirodno nastajućih pirofornih tvari** je skupina navedenih **željezovih sulfida**. Ta je skupina anorganskih spojeva već odavno poznata po sklonosti «*piroformom*» reagiranju. Egzotermno najjače reagira sumporom bogat magnetični mineral **pirhotit** (*pyrrhotit*), brončane boje, kojemu je empirijska formula Fe_nS , gdje je $n = 0,8$ do $1,0$. FeS_2 se u relativno malim količinama nalazi u ugljenima i naslagama željezove rude u obliku spomenutog **pirita**. Ostali **željezovi sulfidi** (FeS , FeS_2 i/ili Fe_2S_3) nastaju u anaerobnim uvjetima u reakciji s hrdom željeza ili čelika (Fe_2O_3 i FeO), tijekom industrijske prerade tvoriva koja sadrže **sumpor** ili nastali **sumporovodik** (H_2S), u postrojenjima (reakcijskim posudama, spremnicima, cjevovodima, ventilima itd.) od željeza ili čelika. Tako, tijekom proizvodnje **sumporne kiseline** ili frakcija ugljikovodika iz **sirove nafte**, nema opasnosti od požara ili eksplozije sve dok su nastali željezovi sulfidi potopljeni u procesnoj kapljevini ili dok se na ine načine održavaju mokrima. Onog trenutka kada se kapljevina ispusti ili ude **zrak** te se spomenute tvorevine dovoljno osuše, stupaju u vrlo egzotermnu kemijsku reakciju s kisikom iz zraka, **do užarenja**: $\text{FeS}_2 + \text{O}_2 \rightarrow \text{FeS} + \text{SO}_2 + \text{Q}_1$. Pritom žarenjem čestica oslobodena količina topline vrlo lako može biti pogubno požarno i/ili eksplozijski opasna, čak i u slučaju sadržaja/nastanka i reakcije iznimno malih količina sulfida. Vrlo fine čestice **željezovih sulfida** još su sklonije «*piroformom*» reagiranju. Jedna serija pokusa na sklonost samozagrijavanju je pokazala kako je **kritična temperatura** (T_c) **pirita**, promjera čestica (d) većih od $0,10 \text{ mm}$, oko 400°C , ali kako ona pada na 340°C u čestica d oko $0,086 \text{ mm}$ (Demidov, 1965.).

Vlaga podupire sklonost «*piroformom*» reagiranju, pa se u prisutnosti **vlage** može zbivati ova reakcija: $2\text{FeS}_2 + 7\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{FeSO}_4 + 2\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{Q}_2$. Naime, kako reakcijom FeS_2 s kisikom iz zraka, u prisutnosti manjih količina vlage, nastaje **željezov sulfat** i **sumporna kiselina**, uz razvijanje topline, nastali FeSO_4 potiče kemijsko razlaganje kemijski još neizreagiralog **pirita** i ubrzava navedenu kemijsku reakciju. Tada i FeS iz **pirita** može reagirati s **kisikom** iz zraka na ova dva načina: $4\text{FeS} + 3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 4\text{S} + \text{Q}_3$ i $4\text{FeS} + 7\text{O}_2 \rightarrow 2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 4\text{SO}_2 + \text{Q}_4$. Takve kemijske reakcije u industrijskim postrojenjima za preradu sirove nafte mogu vrlo lako uzrokovati zapaljenje (i eksploziju) plinova/para naftnih derivata u smjesi s eventualno u postrojenje prodrlom dovoljnom količinom zraka te rasprskavanje tehnoloških jedinica pod nadtlakom nastalih vrelih plinovitih produkata izgaranja, tj. zbog **kemijske eksplozije u razrijeđenoj fazi** – u **zatvorenom prostoru**.

Posebno eksplozijski, požarno i ekološki opasan problem javlja se u slučajevima **tankerskog prijevoza sirove nafte**. Niz slučajeva takvih eksplozija i požara objašnjen je vrlo vjerojatnim «*piroformnim*» reakcijama. Naime, forenzična laboratorijska ispitivanja pokazala su kako «*lanac*» ove opasne pojave započinje stvaranjem **željezovog sulfida** Fe_2S_3 od vrlo sitnih čestica hidratnog **a-ferioksida** [a-FeO(OH)], poznatog i kao mineral «*goethit*» (nazvanom po glasovitom njemačkom pjesniku i dramaturgu *Johannu Wolfgangu von Goetheu*, 1749. - 1832.), prema sljedećoj jednadžbi: $2\text{FeO(OH)} + 3\text{H}_2\text{S} \rightarrow \text{Fe}_2\text{S}_3 + 2\text{H}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + \text{Q}_5$, nakon čega slijedi «*piroformno*» opasna oksidacija: $2\text{Fe}_2\text{S}_3 + 3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 6\text{S} + \text{Q}_6$. Utvrđeno je kako je ta reakcija, premda pod stanovitim uvjetima, «*piroformna*» već pri temperaturama od oko 25°C (Hughes, Morgan i Wilson, 1976.)!!! Naime, aktivno stvaranje tog željezovog sulfida zbiva se samo pri niskim koncentracijama kisika, dok je za «*piroformu*» oksidaciju nužna prisutnost koncentracije O_2 od preko $11\% \text{ vol.}$ (niže koncentracije od navedene dovode samo do sporog samozagrijavanja). Ta činjenica, kako se drugi stadij reakcije zbiva samo pri relativno višim koncentracijama O_2 a prvi pod utjecajem minimalne koncentracije O_2 , već dovoljno govori zbog čega pojave požara i eksplozija takvog uzroka, ipak, srećom, nisu prečeste. Kako je **sumpor** uobičajeni sastojak sirove nafte i kako se koncentracija H_2S unutar spremnika tankera koji ju prevoze kreće i do $3,5\% \text{ vol.}$, ne čudi mogućnost generiranja tinjajuće vrelih čestica na nutarnjim čeličnim površinama spremnika. Prije navedeni autori spominju i mogućnost takvog uzroka u nekih slučajeva eksplozija retorti ili isparivača koje nije bilo moguće objasniti drugačijim mehanizmom uzroka nastanka.

⁸ Nenalaženje neke tvari na ovom popisu **ne znači nužno** kako ona nije sklona samozagrijavanju i samozapaljenju (autorovim dopunama, s još nizom tvari poznatih po sklonosti procesu samozagrijavanja i samozapaljenja i s nekim preventivski i istražiteljski važnim pojašnjenjima, **bitno proširena** tablica prema: *NFPA Committee on Spontaneous Heating and Ignition*, 1997.)!

⁹ Zato se preporuča njihovo čuvanje u dobro zabrtvljenim posudama, a najbolje u limenkama.

¹⁰ Čak i **sintetska otapala** za brzo sušeće boje za drvo ili kovine, kao što je primjerice *diacetonalkohol* ili tzv. *diaceton* [$(\text{CH}_3)_2\text{C(OH)CH}_2\text{COCH}_3$], koji spontano egzotermno oksidira sa zrakom (a eksplozivno brzo u smjesi s jačim oksidacijskim tvarima), u **debljim nečišćenim nakupinama poroznih naslaga boja** u lakirnicama ili na negorivim poroznim upijajućim materijalima (pri intenzivnim radovima lakiranja raspršivanjem boje), mogu uzrokovati samozagrijavanje i tinjajuće samozapaljenje čestica boja ili plamteće samozapaljenje manjih hrpa otpadnih gorivih poroznih materijala koji su takvim bojama/otapalima eventualno bili natopljeni.

¹¹ Mesno i **koštano brašno** iz kafilerija (postrojenja za toplinsku obradu klaoničkog otpada) se nekoć vrlo široko rabilo u prehrani stoke, ali se danas, zbog sprečavanja smrtonosne zaraze «*kravljim ludilom*» (BSE), **uništava spaljivanjem**. Zato su pojave samozagrijavanja i samozapaljenja mesnog i koštanog brašna danas ograničene samo na skladišne prostore malobrojnih kafilerija i na privremene skladišne prostore malobrojnih spalionica industrijskog i inog opasnog otpada!

¹² Vidi ponovo *fusnote* 7 i 22 (*I. dio* članka), a šire objašnjenje u tekstovima o **niskonitriranoj nitrocelulozi** i o **eksplozivnim tvarima!**

¹³ NFPA pregledom se ne precizira misli li se ovdje samo na *peletiranu* ili i na *sušenu* lucernu.

¹⁴ Naime, niz pokusa sa spomenutim, zapravo vrlo često prisutnim/pojavljjućim, **vanjskim izvorima energije pripaljivanja** pokazali su kako se proces tinjanja u hrpi tvari zbivao i po 72 sata prije nego li su postale razvidne indicije tako iniciranog požara!

¹⁵ Detaljnije vidi: Kulišić, D. (1992. i 1993.).

¹⁶ Ako su pakiranja s pjenastom gumom bila izložena procesu prisilnog sušenja treba kriminalistički i, potom, forenzično provjeriti jesu li, kako (na koji način), gdje (na kojem i na kakvom mjestu) i koliko dugo bila puštena da se (zaista dovoljno?) ohlade prije skladištenja u hrpi, prije baliranja ili prije odlaganja na mjesta za sakupljanje i odvoženje otpada.

¹⁷ Poglavitno: *akrilna kiselina; akrilonitril; n-butil akrilat; n-butilmetakrilat; 4-klorstiren; divinilbenzen; dodecil metakrilat; etil akrilat; etilen dimetakrilat; 2-hidroksipropil metakrilat; metil akrilat; metil metakrilat; a-metil stiren; metil vinil eter; stiren; vinil acetat i vinil bromid* su kao **kemijski vrlo reaktivne tvari** potencijalno sklone i **eksplozivnoj reakciji!!!**

¹⁸ Primjerice, one na osnovi drva kao što su **lesoniti, šperploče, iverične ploče, laminatne ploče**, pa i neke vrste **heraklitnih ploča** koje su eventualno gorive – zbog uporabe smola, velikih nadtlakova i visokih temperatura pri njihovoj proizvodnji.

¹⁹ Svijetložuto ulje koje se dobiva iz soka sjemenki iz roda *Perilla*. Rabilo se u Aziji kao ulje za kuhanje, a najšire pri proizvodnji lakova, tiskarske tinte i umjetne kože.

²⁰ Onečišćena (zamašćena, nauljena ili natopljena) čak i samo s mazutom, loživim uljem ili dizelskim gorivom, motornim uljima ili nesušivim mastima te dugotrajno izložena visokim temperaturama (npr. kao termoizolacijska obloga parovoda) može se samozagrijati do samozapaljenja karboniziranih ostataka takvih organskih nečistoća upijeni u njezinu poroznu strukturu.

²¹ Prije se izvodila primjenom tzv. "halona" – halogeniziranih ugljikovodika, najpoznatijih pod kodnim brojevnim oznakama 1301 i 1211 (gdje je 1301 – *trifluormetan*, a 1211 – *bromklordifluormetan*), a danas se izvodi s drugim – vrsno ohlađujuće i djelomice antikatalitički djelujućim ili brzo inertizirajućim – tvarima, kao što su suvremeni, za ozonski omotač neškodljivi i glede mogućeg utjecaja na ljudsko zdravlje (aktualno) dovoljno prihvatljivi, tzv. «*plinski zamjenitelji halona*»: «*FM 200*», «*FE 13*», «*Novex 1230*», odnosno «*Inergen*» (koji je smjesa inertnih plinova N₂, Ar i CO₂).

²² S motrišta taktike žurne vatrogasne intervencije (ujedno i s kriminalističkog stajališta) **najpogodniji trenutak je onaj kada**, nakon obavljenog zapovjednog izviđanja požarišta, **zapovjednik vatrogasne postrojbe donosi i priopćava okupljenim vatrogascima svoju odluku** o taktici uporabe raspoloživih snaga, vatrogasne tehnike i sredstava za gašenje za situaciju primjerenu vatrogasnu intervenciju te **izdaje zapovjedi i upozorava na posebne zadaće** navalnih skupina vatrogasaca koje trebaju prići i/ili ući u objekt zahvaćen požarom i izvršiti završno gašenje svih žarišta požara. Zbog toga je **pravodobnost/promptnost izlaska kriminalista na mjesto požara** poradi provedbe i ove zadaće (poduzimanje mjera pravodobnog osiguranja materijalnih tragova) **od iznimne kriminalističke taktičke važnosti!!!**

²³ Stalno vodeći računa o sukcesivnom kriminalističkom obilježavanju i fiksiranju tih mjesta i svih poduzetih kriminalističko-tehničkih radnji na njima.

²⁴ Prema: *Whirlpool Corp., "Spontaneous Combustion of Vegetable Oils on Fabrics," Whirlpool Corp., 1991.*

²⁵ Serije pokusa koje je u SAD-u proveo *Center of Forensic Sciences i Ontario Fire Marshal's Office* (prema: *Center of Forensic Sciences, "Report on Self-Heating Tests - Sept. 26, 1991"* i *Dixon, B.M., Spontaneous Combustion, The Journal of the Canadian Association of Fire Investigators, March 1992.*).

²⁶ Pod tim se u istraživanju **načina nastanka požara i eksplozija** uobičajeno razumijevaju pojave ili djelovanja: **samozagrijavanja i samozapaljenja** samo onih tvoriva ili tvari koje ne mogu biti pod ljudskim ili tehnološkim nadzorom, **izbijanja atmosferskog elektriciteta** (uključujući "kuglastih munja"), **nedresiranih životinja, sunčevog zračenja, udara jakog vjetra, potresa, odrona tla, udara ili erozije tla od valova ili vodenih bujica, erupcije vulkana, pada meteorita, dijelova letjelica ili komada leda, iznimno visokih ili niskih temperatura, sunčevih elektromagnetskih oluja** itd.

²⁷ Pritom treba imati na umu kako **briketirani drveni ugljen za roštilj** nije sklon samozagrijavanju do temperature samozapaljenja ako se ne skladišti/drži u masama većim od 20 kg ili pri visokim temperaturama ambijenta (većim od 100 °C).

²⁸ Poznati su mnogobrojni slučajevi nastanka samozapaljenja unutar hrpa naslaga vrelog (dovoljno neohlađenog) pamučnog rublja, koji su se događali **samo nekoliko sati nakon procesa prisilnog (strojnog) sušenja**.

²⁹ Naime, nisu nepoznati slučajevi kada je, **pri relativno visokim temperaturama ambijenta**, do samozapaljenja lanenim uljem natopljenih pamučnih krpa došlo unutar vremena **kraćeg i od jednog sata!**

³⁰ Spomenuti i ini preventivni/sigurnosno ključno važni **čimbenici utjecaja** detaljno su obrazloženi u *1. dijelu* ovog rada (vidi *slike 3 i 6 - 11* te tekst u svezi njih!).