

## КИСЕОНИКОМ ОБОГАЂЕНЕ АТМОСФЕРЕ

Саша Спаић<sup>1</sup>

**Резиме:** Кисеоником обогачене атмосфере су атмосфера у којима је кисеоник заступљен у запреминском проценту вишем од 21%, или му је парцијални притисак већи од 21,3 kPa, или и једно и друго. Овакве атмосфере утичу на низ особина материјала, међу којима је нарочито важна запаљивост материјала и са њом повезани ризици. Кисеоником обогачене атмосфере јављају се најчешће у транспорту кисеоника, при медицинским применама, у ваздухопловству, свемирским програмима и другде. У раду су приказани начини којима кисеоником обогачене атмосфере утичу на запаљивост материјала.

**Кључне речи:** кисеоником обогачене атмосфере, запаљивост материјала

## OXYGEN-ENRICHED ATMOSPHERES

**Abstract:** Oxygen-enriched atmospheres are atmospheres in which oxygen is present in a volume percentage higher than 21%, or its partial pressure is higher than 21.3 kPa, or both. Such atmospheres affect a number of material properties, among which the flammability of the material and the risks associated with it are particularly important. Oxygen-enriched atmospheres occur most often in the transport of oxygen, in medical applications, in aviation, space programs and elsewhere. The paper presents the ways in which oxygen-enriched atmospheres affect the flammability of materials.

**Key words:** oxygen-enriched atmospheres, flammability of materials

### 1. УВОД

У овире сарадње Високе техничке школе струковних студија у Новом Саду (Школа), са Санкт Петербуршким Универзитетом државне службе заштите од пожара Министарства цивилне заштите, ванредних ситуација и елиминисања последица природних катастрофа Русије [1], [2], пре десетак година, представник ове установе је одржао предавање о вештачењу (експертизи) пожара [3], [4], студентима и професорима Школе. Навео је случај детета, које је наочиглед родитеља изгорело у хипербаричној комори [5], [6]. Експертизом, коју је предводио, је установљено, да је дете у цепоу вероватно имало кутију шибица, које су се у кисеоником обогаченој атмосфери хипербаричне коморе самозапале изазивајући паљење жртве. Овај страшни догађај, веома убедљиво говори о опасностима и ризицима које са собом носе радови у кисеоником обогаченим атмосферама (у даљем тексту: КОА). Свако повећање концентрације кисеоника у ваздуху повећава брзину ширења пламена. Разлог овоме је веће топлота развијеног пламена, а последично томе и већа способност преноса топлоте на још незапаљену фракцију горива [7]. Актуелни садржај кисеоника у атмосфери је 21% (запремински), међутим, Земљина атмосфера у почетку није садржала кисеоник, да би се током њене еволуције тај садржај мењао и у одређеном периоду достигао максималних 35%. При мање од 15% кисеоника пожари не би горели, али са више од 25% кисеоника чак и влажна органска материја би слободно горела. Знатно нижи или виши нивои кисеоника у атмосфери били би штетни по живот [8]–[12]. Садржај кисеоника мањи од 16% није довољан за дисање [13]. Честе су ситуације да ваздушни притисак одступа од нормалне вредности 101 kPa (1 atm), која се јавља на нивоу мора. Нпр., кабине комерцијалних авиона који лете на великим висинама налазе се под

<sup>1</sup> др, Висока техничка школа струковних студија у Новом Саду, Школска 1, e-mail: spaic@vtsns.edu.rs

притиском од приближно 75 kPa, а хипербаричне коморе за медицинске третмане могу радити на притисцима од чак 300 kPa - понекад у атмосфери 100% кисеоника. При садржају кисеоника у атмосфери од 21%, температура пламена ће приликом пожара бити скоро иста без обзира да ли се он дешава при атмосферском или притиску нешто другачије вредности. Значи, промена притиска не утичу на понашање пожара тако изразито као промена садржаја кисеоника. Ипак, брзина ширења пламена по чврстим површинама се повећава са повишењем притиска. И друге пожарне величине, као температура паљења, тенденција продукције дима, зрачење пламена, концентрације токсичних гасова, такође, у извесној мери варирају са притиском. Већина атмосфера које садрже довољно кисеоника да омогућавају дисање ће омогућити и процесе сагоревања. Ипак, вредно је помена да, смеша која се састоји од 10% кисеоника и 90% азота, на притиску од 2 атмосфере, омогућава скоро нормално дисање, али не подржава горење већине материјала [14].

## 2. КИСЕОНИКОМ ОБОГАЂЕНЕ АТМОСФЕРЕ

Кисеоник је прозиран хемијски елемент, без боје, мириса и укуса. Као најзаступљенији оксидујући агенс у атмосфери, ступа у реакције са многим материјалима, које су изразито егзотермне. Кисеоником обogaђена атмосфера се дефинише као атмосфера у којој је кисеоник заступљен у запреминском проценту вишем од 21%, или му је парцијални притисак већи од 21,3 kPa, или и једно и друго (Табела 1) [15].

Табела 1 - Парцијални притисак кисеоника у разређеној или компримованој ваздушној атмосфери

Укупни притисак		Надморска висина или дубина испод нивоа мора (ваздух или морска вода)	Парцијални притисак кисеоника ако је атмосфера ваздух <sup>а</sup>	Концентрација кисеоника ако његов парцијални притисак износи 21,33 kPa
atm	kPa	m	kPa	% (запремински)
1/5	20,0	11735	4,27	100,0 <sup>б</sup>
1/3	33,8	8832	7,07	62,7 <sup>б</sup>
1/2	50,3	5486	10,67	42,8 <sup>б</sup>
2/3	67,6	3353	14,13	31,3 <sup>б</sup>
1	101,4	Ниво мора	21,33	20,9
2	202,7	- 10	42,66 <sup>б</sup>	10,5
3	304,1	- 20	64,00 <sup>б</sup>	6,9
4	405,4	- 30	85,33 <sup>б</sup>	5,2
5	506,8	- 40	106,66 <sup>б</sup>	4,2

<sup>а</sup>Ова колона приказује пораст доступности кисеоника у атмосферама компримованог ваздуха.

<sup>б</sup>Кисеоником обogaђена атмосфера.

Кисеоник подржава сагоревање и неопходан је за живот биљака, животиња и људи. Ваздушна концентрација кисеоника је, генерално говорећи, довољна за потребе људи који су здрави, као и за већину примена процеса сагоревања. Међутим, кисеоник се примењује и при околностима које се разликују од уобичајених. КОА-е се примењују у медицинске сврхе, при индустријским процесима, за подводне тунелске и кесонске радове, при истраживању морских дубина, за операције свемирских летова, у комерцијалној и војној авијацији. КОА-е могу настати омашком (ненамерно) у ситуацијама када се кисеоник, или компримовани ваздух, транспортује, складишти или користи. Конвенционални поступак добијања кисеоника укључује компримовање ваздуха, које прате хлађење и реекспанзија; поступак се понавља док температура

ваздуха падне испод критичног притиска кисеоника проузрокујући његову ликвификацију (прелаз у течну фазу). Фракционом дестилацијом течног ваздуха раздвајају се његови састојци. Добијени кисеоник се потом складишти као компримовани гас или као течност. Кисеоник се из ваздуха може добити поступком апсорпције употребом мембранских система. Електролиза воде је још једна од могућности за добијање кисеоника. Имајући у виду широку употребу кисеоника, важно је размотрити опасности које прате изградњу кисеоничних система [15].

Пожар је хемијска реакција између горива и оксиданса. Започињање и брзина одвијања ове реакције подлеже законима хемијске кинетике. Степен пожарне опасности зависи од концентрације присутног кисеоника, разблажујућег гаса и укупног притиска. Најчешће се јављају КОА-е код којих је повећана пожарна опасност изазвана повећаним парцијалним притиском кисеоника (нпр. атмосфера компримованог ваздуха). Међутим, не мора свака КОА-а узроковати повећану пожарну опасност. Извесне КОА-е могу подржавати сагоревање слично амбијенталном ваздуху, док су друге неспособне да подрже горење нормално запаљивих материјала. Нпр., 4% кисеоника у смеси са азотом, или хелијумом, при укупном притиску од 12 atm (1216 kPa), неће подржавати сагоревање папира, мада је парцијални притисак кисеоника 48,7 kPa. Међутим, различите концентрације и притисци могу убрзати сагоревање материјала, олакшати паљење, и генерално говорећи повећати пожарну опасност (већина КОА-а у пракси спада у ову категорију, Табела 1) [15].

Пожари и експлозије се могу јавити при веома различитим околностима укључујући намерно или ненамерно изазване КОА-е. Примери таквих ситуација су [15]:

1. Транспорт (превоз), трансфер (пренос) и производња кисеоника, укључујући камионску доставу течног кисеоника, цурење или одзрачивање из опреме за складиштење или опреме за дозирање, као и пуњење контејнера.

2. Медицинске примене, укључујући инхалациону терапију, системе за одржавање живота, поступке реанимације, хипербаричне коморе, анестезију.

3. Индустијске примене у петрохемији, производњи челика, рударству, секундарном третману урбаних и индустријских отпадних вода, производњи микрочипова, поступцима избелјивања папира и пулпе, употреба воде при терцијарном поступку екстракције нафте из лежишта, кесонски радови и подводно тунелирање.

4. Ваздухопловне активности које укључују употребу течног кисеоника у ракетама на течном гориву и у системима за дисање авијатичара. Гасовити кисеоник се користи у NASA орбиталним свемирским летелицама у концентрацији од 25,9% кисеоника при нормалном притиску, а свемирске станице су дизајниране да користе атмосферу са 30% кисеоника при 70,3 kPa.

5. Системи за тестирање, опрема за подршку на земљи, лабораторијски системи цевовода и ацетиленско/кисеонични горионици који користе окружења са повећаним садржајем и притиском кисеоника.

6. Нехотично настале КОА-е услед неправилног дизајна (пројектовања), квара, неправилне употребе опреме за складиштење или опреме за дозирање. Кисеоник се више раствара у авионском гориву од азота, па ако је ово гориво дуже времена изложено ваздуху доста кисеоника се може растворити у њему, а потом се ослободити током лета услед сниженог притиска у ваздухоплову, формирајући опасну КОА-у.

7. Нехотична замена ваздуха или азота кисеоником.

8. Контаминација (онечишћење) органским, неорганским или честичним материјама. Контрола контаминације у кисеоничним системима и њиховим компонентама је императив да би се минимизирале опасности и кварови (откази) компоненти у кисеоничним системима. Контрола контаминације је обавезна како би се обезбедио прихватљив производ. Ниво захтеване чистоће зависи од врсте система и радних услова. Идеалан случај је да се системи и компоненте раставе на делове, а делови очисте сваки понаособ. Ово решење често није практично изводљиво, па највише што се тада може урадити јесте уклањање функционалних компоненти, њихово појединачно чишћење и испирање цевовода на лицу места. Пре развоја или увођења компоненте у кисеонични систем треба урадити процену ризика за примењени материјал. Процена компатибилности материјала са кисеоником омогућава идентификацију опасности и управљање ризиком.

Даље, КОА-а може настати при употреби азот(I)-оксида ( $N_2O$ ). Две најчешће примене азот(I)-оксида су медицинска (као благи анестетички агенс) и индустријска (као погонско средство у аеросолним производима, пропелант). Употреба других оксиданаса, нпр. хлора ( $Cl_2$ ), хлората ( $ClO_3^-$ ), азот(II)-оксида ( $NO$ ), озона ( $O_3$ ), може интензивирати сагоревање. Увек треба консултовати одговарајућу безбедносну литературу, нпр. безбедносне листове (MSDS) [15].

Опасности су увек присутне када се користи кисеоник. Већина материјала ће се запалити на значајно нижим температурама у КОА-а него у ваздуху, а и само горење ће се у њима одвијати већим брзинама. Међутим, ове опасности не доводе до престанка употребе кисеоника. При фиксном запреминском проценту кисеоника минимална енергија паљења је обрнуто пропорционална квадрату притиска. Постоји минимална вредност притиска испод које неће доћи до паљења. Како се температура посматраног система повећава све мање енергије је потребно за паљење смеше, док у једном тренутку температура достигне вредност при којој се смеша запали спонтано. Ова минимална температура је позната као температура самопаљења или спонтаног паљења [15].

Да би дошло до паљења смеше гаса са оксидансом та смеша се, поред осталог, мора налазити у интервалу запаљивости (између доње и горње границе запаљивости, ДГЗ и ГГЗ, респективно). Код течности, паре настале њеним испаравањем формирају запаљиву смешу са оксидансом. Најнижа температура на којој долази до паљења овакве смеше назива се температура запаљивости течности, а састав смеше тада одговара доњој граници запаљивости. Температуре запаљивости течности у кисеонику су нешто ниже него у ваздуху. Најчешће, доње границе запаљивости за већину угљоводоничних течности, анестетика и растварача су у интервалу 1-5% запреминских, у ваздуху или кисеонику при притиску од 1 atm. Код већине лубриканата (мазива), ДГЕ вредности су испод 1% запреминског, због веће молекулске масе тих течности, али су им температуре запаљивости ( $93-371^\circ C$ ), знатно више него код алкана и других угљоводоника. Према се већина ДГЗ у кисеонику не разликује знатно од оних у ваздуху, ГГЗ имају много више вредности у кисеонику, које се крећу преко 50% за многе материјале, Табела 2 [15].

Отпорност материјала на ватру је важна селекциона карактеристика када се пројектује (дизајнира) кисеонична компонента или систем. Неметални чврсти материјали нарочито су осетљиви на напрезања, као што су температура, време, притисак, абразија, светлост, удар честица, силе затезања или компресије, или било које друго дејство које може да изазове старење. Временом материјал може да подлегне трансформацијама у односу на почетно стање. Неке од промена услед старења или

оксидације могу бити губитак механичких особина и отпорности на температуру, промене у својствима запаљивости и ширења пламена, као и стварање честица. Повећање парцијалног притиска кисеоника, при константном притиску средине, може променити класификацију материјала из незапаљивог у запаљив. За материјале који су већ запаљиви при садржају кисеоника од 21% запреминског, даље повећање парцијалног притиска кисеоника може повећати брзину ширења пламена [15].

Табела 2 - Параметри паљења и запаљивости запаљивих течности и гасова у ваздуху и кисеонику на атмосферском притиску

Супстанца	Температура запаљивости	Минимална температура паљења		Минимална енергија паљења		Границе запаљивости (% запремински)			
		Ваздух	Ваздух	Кисеоник	Ваздух	Кисеоник	Ваздух		Кисеоник
	°C	°C	°C	mJ	mJ	ДГЗ	ГГЗ	ДГЗ	ГГЗ
Угљоводонична горива									
Метан	Гас	630	-	0,300	0,0030	5,0	15,0	5,1	61,0
Етан	Гас	515	506	0,250	0,0020	3	12,4	3,0	66,0
n-Бутан	-60,0	288	278	0,250	0,0090	1,8	8,4	1,8	49,0
n-Октан	13,3	220	208	-	-	0,8	6,5	≤0,8	-
Ацетилен	Гас	305	296	0,017	0,0002	2,5	100,0	≤2,5	100,0
Бензин	-45,5	440	316	-	-	1,3	7,1	≤1,3	-
Керозин	37,8	227	216	-	-	0,7	5,0	0,7	-
Анестетички агенси									
Циклопропан	Гас	500	454	0,180	0,0010	2,4	10,4	2,5	60,0
Етилетар	-28,9	193	182	0,200	0,0013	1,9	36,0	2,0	82,0
Етилхлорид	-50,0	516	468	-	-	4,0	14,8	4,0	67,0
Растварачи									
Метанол	12,2	385	-	0,140	-	6,7	36,0	≤6,7	93,0
Етанол	12,8	365	-	-	-	3,3	19,0	≤3,3	-
Етилацетат	-4,4	427	-	0,480	-	2,2	11,0	≤2,2	-
Ацетон	-17,8	465	-	1,150	0,0024	2,6	13,0	≤2,6	60,0
Бензен	-11,1	560	-	0,220	-	1,3	7,9	≤1,3	30,0
Толуен	4,4	480	-	2,500	-	1,2	7,1	≤1,2	-
Метиленхлорид	-	615	606	-	0,1370	15,9	19,1	11,7	68,0
Разне запаљиве супстанце									
Сирћетна киселина	40,0	465	-	-	-	5,4	-	≤5,4	-
Амонијак	Гас	651	-	>1000,000	-	15,0	28,0	15,0	79,0
Угљенмоноксид	Гас	609	588	-	-	12,5	74,0	≤12,5	94,0
Водоник	Гас	520	400	0,017	0,0012	4,0	75,0	4,0	95,0
Водониксулфид	Гас	260	220	0,077	-	4,0	44,0	≤4,0	-

Органски материјали у облику фино распршених облака прашине су изузетно подложни сагоревању. Типично, енергија паљења варницом је мања од 0,1 J. Појединачна влакна органских материјала (нпр. неупредено памучно влакно, памучни праменови и паперјасте тканине), могу се запалити варницом статичког електрицитета од 0,02 J у 100% кисеонику, али не у 64% кисеонику. Текстилне тканине (памук и вуна који се користе за израду одеће), могу се запалити варницом енергије од само 2,3 J у 100% кисеонику, док је у нормалном ваздуху потребна варница енергије од најмање 193 J [15].

Температуре самопаљења неметалних чврстих материјала изразито опадају са повећањем притиска до око 7 МПа, након чега остају суштински константне при даљем повећању притиска [15].

Већина материјала који се уобичајено користе у кућним условима и радној средини су запаљиви на вадуху. Хемијски адитиви који се додају у пластике и текстилне тканине (халогени, боракс, фосфати, разни метални оксиди), су ефикасни у смањењу запаљивости и горивости материјала у атмосферама са садржајем кисеоника до 30-35%. Ови адитиви приликом горења материјала мењају механизам горења у односу на нетретирани материјал, што може довести до настајања корозивних или токсичних пара [15].

Кисеонични индекс се уобичајено користи за испитивање паљења и ширења пламена материјала у КОА-а [15]. Овај показатељ представља минималну концентрацију кисеоника у азот-кисеоничној смеси, у којој је могуће самостално сагоревање материјала светлим пламеном, Табела 3. Кисеонични индекс се користи при контроли запаљивости, а исто тако и при припреми материјала смањене запаљивости [16].

Табела 3 - Кисеонични индекс изабраних материјала

Материјал	Запреминска маса	Кисеонични индекс
	kgm <sup>-3</sup>	% (запремински)
Полиуретанска пена, тврда	33	15,3
Гума - пенаста	127	16,0
Полиетилен	880	17,4
Памук	-	18
Полистирол	-	19,2
Дрво - бели бор	300	20,9
Најлон	-	23,9
Вуна	-	25
Поливинилхлорид	1360	40
Графит - електродни	-	63,5
Политетрафлуоретилен (PTFE)	-	95

Скоро сви полимерни материјали су запаљиви у 100% кисеонику на атмосферском притиску. Изолација електричних инсталација је критична примена полимерних материјала. Уобичајено коришћени полимери су Teflon (PTFE), Nomex, Kapton, Кунар, силикон, полиолефини, поливинилхлорид (PVC). Од свих њих Teflon (PTFE) је најотпорнији на паљење и горење у КОА-а [15].

Брзина ширења пламена под датим околностима у КОА-и је најважнија особина која доприноси опасности од пожара у таквој атмосфери. Ова брзина се повећава са повећањем концентрације кисеоника при константном притиску или повећањем укупног притиска при константном проценту кисеоника [15].

Сви метали, са могућим изузетком племенитих метала (злато и платина), могу се запалити у кисеонику на повишеним температурама и притисцима. Најлакше су запаљиви када им је велика специфична површина (прашина, танки листови, жице, жичане мреже). Од уобичајених метала најзапаљивији су титанијум, магнезијум и литијум, а најмање запаљиви су никал, бакар и кобалт. Повећање концентрације и притиска кисеоника доводи до паљења метала на нижим температурама [15].

Треба примењивати систематски приступ како би се минимизовао ризик од пожара и потенцијални ефекат пожара на личну безбедност и безбедност система, пре пројектовања система повезаних са КОА-а, као што су: системи снабдевања гасом и компримованим ваздухом, варилачки радови, опрема за лансирање свемирских летелица и припадајућа опрема за подршку на Земљи, апарати за дисање у води

(SCUBA - self-contained underwater breathing apparatus) и медицинске примене (укључујући кућне апарате за помоћ при дисању) [15].

Системи за гашење пожара који се користе у КОА-а треба да задовоље многе додатне захтеве поред оних који су потребни за конвенционалне системе. Ови захтеви се не могу задовољити једноставним проширењем традиционалних техника гашења. Потребни су посебна упутства и обука особља за хитне случајеве, као и пажљив одабир средстава и система за гашење. Вода се показала као ефективно средство за гашење пожара у КОА-а, када се примени у довољним количинама. Водени спреј густине  $50 \text{ l min}^{-1} \text{ m}^{-2}$ , примењен током 2 минуте, угасиће тканину која гори у 100% кисеонику на атмосферском притиску [15].

### 3. ЗАКЉУЧАК

Земљина атмосфера је имала еволуцију која је довела до њеног садашњег састава. КОА-е су оне у којима је кисеоник заступљен у запреминском проценту вишем од 21%, или му је парцијални притисак већи од 21,3 kPa, или и једно и друго. КОА-е се најчешће јављају у транспорту кисеоника, при медицинским применама, у ваздухопловству, свемирским програмима и другде. Овакве атмосфере утичу на низ особина материјала, међу којима је нарочито важна запаљивост материјала и са њом повезани ризици. Са овог аспекта посебно су у раду разматране гасне смеше, течности и материјали у чврстом агрегатном стању (неметални органски материјали и метали) и одговарајуће величине које корелирају са запаљивошћу материјала. При пројектовању система повезаних са КОА-а користе се материјали са задовољавајућим вредностима кисеоничног индекса, који треба да задовоље и друге безбедносне захтеве. Пред системе и средства за гашење пожара у КОА-а постављају се веома ригорозни захтеви.

### 4. ЛИТЕРАТУРА

- [1] <http://vtsns.edu.rs/wp-content/uploads/2016/12/Ugovor-o-saradnji-Sankt-Peterburg-ruski.pdf>, Новембар 2021.
- [2] <http://vtsns.edu.rs/wp-content/uploads/2016/12/Ugovor-o-saradnji-Sankt-Peterburg-engleski.pdf>, Новембар 2021.
- [3] Артамонов, В.С., Белобратова, В.П., Бельшина, Ю.Н., Вакуленко, С.В., Воронова, В.Б., Галишев, М.А., Кондратьев, С.А., Моторыгин, Ю.Д., Полянская, Н.А., Сиротинкин, Н.В., Толстых, В.И., Уткин, Н.И., Чешко, И.Д., Шарапов, С.В. (2007). *Расследование пожаров: Учебник*. Санкт-Петербург. Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы МЧС России.
- [4] Алексић, Ж.Л., Костић, Р.А. (1982). *Пожари и експлозије - Приручник за откривање узрока и утврђивање одговорности*. Београд. Привредна штампа.
- [5] <https://www.stetoskop.info/metode-u-medicini/hiperbaricna-komora>, Новембар 2021.
- [6] <http://www.vma.mod.gov.rs/sr-lat/lekarski-saveti/Saveti-lekara-VMA/hiperbaricna-komora>, Новембар 2021.
- [7] Drysdale, D. (2011). *An introduction to fire dynamics, 3<sup>rd</sup> Edition*. Chichester, West Sussex. John Wiley & Sons Ltd.
- [8] Allgre, C.J., Schneider, S.H. (2005). *Evolution of Earth*. SA Special Editions 15, 2s, 4-13. <https://www.scientificamerican.com/article/evolution-of-earth/>, Новембар 2021.

- [9] [https://globalchange.umich.edu/globalchange1/current/lectures/Perry\\_Samson\\_lectures/evolution\\_atm/](https://globalchange.umich.edu/globalchange1/current/lectures/Perry_Samson_lectures/evolution_atm/), Новембар 2021.
- [10] Gaidos, E.J., Yung, Y.L. (2003). *Evolution of Earth's Atmosphere*. 762-767. [https://curry.eas.gatech.edu/Courses/6140/ency/Chapter1/Ency\\_Atmos/Evol\\_Earth\\_Atmos.pdf](https://curry.eas.gatech.edu/Courses/6140/ency/Chapter1/Ency_Atmos/Evol_Earth_Atmos.pdf), Новембар 2021.
- [11] Mojzsis, S.J. *Life and the Evolution of Earth's Atmosphere*. 32-39. <https://pita.ess.washington.edu/tswanson/wp-content/uploads/sites/9/2018/10/Reading1LifeEvolAtm.pdf>, Новембар 2021.
- [12] Hayes, J.M., Rafferty, J.P. <https://www.britannica.com/topic/evolution-of-the-atmosphere-1703862/Early-composition>, Новембар 2021.
- [13] Правилник о техничким и здравствено-техничким заштитним мерама на радовима при хемијско-технолошким процесима („Службени лист ФНРЈ“, бр. 55/50 – Прилог бр. 9).
- [14] Gann, R.G., Friedman, R. (2015). *Principles of Fire Behavior and Combustion, 4<sup>th</sup> Edition*. Quincy. NFPA®. Burlington. Jones&Bartlett Learning.
- [15] Cote, A.E. (Editor-in-Chief) (2008). *Fire Protection Handbook®*, 20<sup>th</sup> Edition, Volume I & II. Quincy. Massachusetts. NFPE®.
- [16] Радошевић, Н. (уредник) (1984). *Хемијско-технолошки приручник, Књига четврта, Штетне и опасне материје*. Београд. Издавачка радна организација - Рад.