



UNIVERZITET U NOVOM SADU
FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA U
NOVOM SADU



Ivana Milenković

KVALITET VAZDUHA POD PRITISKOM U FUNKCIJI ODRŽIVE PROIZVODNJE

DOKTORSKA DISERTACIJA

Novi Sad, 2014.



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ • ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА
21000 НОВИ САД, Трг Доситеја Обрадовића 6

КЉУЧНА ДОКУМЕНТАЦИЈСКА ИНФОРМАЦИЈА

Редни број, РБР:		
Идентификациони број, ИБР:		
Тип документације, ТД:	Монографска документација	
Тип записа, ТЗ:	Текстуални штампани материјал	
Врста рада, ВР:	Докторска дисертација	
Аутор, АУ:	Ивана Миленковић	
Ментор, МН:	др Драган Шешлија, ред. проф.	
Наслов рада, НР:	Квалитет ваздуха под притиском у функцији одрживе производње	
Језик публикације, ЈП:	српски	
Језик извода, ЈИ:	српски / енглески	
Земља публикација, ЗП:	Република Србија	
Уже географско подручје, УГП:	Аутономна покрајина Војводина	
Година, ГО:	2014	
Издавач, ИЗ:	Ауторски репринт	
Место и адреса, МА:	Трг Доситеја Обрадовића 6, Нови Сад	
Физички опис рада, ФО: (поглавља/страна/ цитата/табела/слика/графика/прилога)	5/119/103/34/60/0/4	
Научна област, НО:	Индустријско инжењерство	
Научна дисциплина, НД:	Мехатроника, роботика и аутоматизација	
Предметна одредница/Кључне речи, ПО:	енергетска ефикасност ваздуха под притиском, филтрација, одржива производња	
УДК		
Чува се, ЧУ:	Библиотека Факултета техничких наука, Нови Сад, Србија	
Важна напомена, ВН:		
Извод, ИЗ:	У раду се проучава квалитет ваздуха под притиском из аспекта одрживе производње. Захтевани квалитет ваздуха постиже се применом филтера и сушача. Филтери ваздуха изазивају пад притиска, који ако се смањи, смањује се и укупна количина произведеног ваздуха под притиском, чиме се повећава енергетска ефикасност. Утврђује се повезаност примене различитих филтера и пада притиска, уз поштовање квалитета ваздуха. Осим тога, анализиран је кондензат, који се при филтрацији јавља у систему, и креиране су одговарајуће препоруке за његово одлагање, јер се он сврстава у опасан отпад због присуства уља.	
Датум прихватања теме, ДП:	20.12.2012	
Датум одбране, ДО:		
Чланови комисије, КО:	Председник: др Бранислав Боровац, ред. проф.	Потпис ментора
	Члан: др Слободан Дудић, доцент	
	Члан: др Драгољуб Шевић, доцент	
	Члан: др Љубомир Миладиновић, ред. проф	
	Члан, ментор: др Драган Шешлија, ред. проф.	



UNIVERSITY OF NOVI SAD • FACULTY OF TECHNICAL SCIENCES
21000 NOVI SAD, Trg Dositeja Obradovića 6

KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number, ANO :			
Identification number, INO :			
Document type, DT :	Monographic documentation		
Type of record, TR :	Textual printed material		
Contents code, CC :	PhD thesis		
Author, AU :	Ivana Milenković		
Mentor, MN :	Professor Dragan Šešlija, PhD		
Title, TI :	Compressed air quality as a function of sustainable production		
Language of text, LT :	Serbian		
Language of abstract, LA :	Serbian / English		
Country of publication, CP :	Republic of Serbia		
Locality of publication, LP :	Vojvodina		
Publication year, PY :	2014		
Publisher, PB :	Author's reprint		
Publication place, PP :	Trg Dositeja Obradovića 6, Novi Sad		
Physical description, PD : (chapters/pages/ref./tables/pictures/graphs/appendixes)	5/119/103/34/60/0/4		
Scientific field, SF :	Industrial engineering		
Scientific discipline, SD :	Mechatronics, robotics and automation		
Subject/Key words, S/KW :	Energy efficiency of compressed air, Filtration, Sustainable production		
UC			
Holding data, HD :	Library of Faculty of Technical Sciences, Trg D. Obradovića 6, Novi Sad, Serbia		
Note, N :			
Abstract, AB :	<p>This paper examines the quality of compressed air from the aspect of sustainable production. The required air quality is achieved by using filters and dryers. Air filters generate the pressure drop, which, if reduced, reduces the total volume of produced compressed air, which lead to increase in energy efficiency. Connections between the application of different filters and pressure drops with respect to quality are explored. In addition, the condensate from the compressed air system is analysed, and appropriate recommendations for its disposal are created because it is classified as hazardous waste due to the presence of oil.</p>		
Accepted by the Scientific Board on, ASB :	20.12.2012.		
Defended on, DE :			
Defended Board, DB :	President:	Professor Branislav Borovac, PhD	
	Member:	Assistant Professor Slobodan Dudić, PhD	
	Member:	Assistant Professor Dragoljub Šević, PhD	Mentor's sign
	Member:	Professor Ljubomir Miladinović, PhD	
	Member, Mentor:	Professor Dragan Šešlija, PhD	

Sadržaj

Spisak slika.....	iii
Spisak tabela	v
Spisak skraćenica.....	vi
Rezime	vii
Abstract	viii
Poglavlje 1. Uvod - Održiva proizvodnja.....	1
1.1 Održiva proizvodnja i sistemi vazduha pod pritiskom	4
1.2 Predmet istraživanja	6
1.3 Cilj istraživanja i očekivani rezultati	7
1.4 Hipoteze.....	8
1.5 Prikaz disertacije po poglavljima.....	8
Poglavlje 2. Teorijske osnove i pregled literature	10
2.1 Sistemski prilaz	10
2.2 Kvalitet vazduha pod pritiskom	12
2.2.1 Izvori zagađenja i zagađivači vazduha pod pritiskom.....	12
2.2.2 Standardizacija kvaliteta vazduha pod pritiskom.....	14
2.2.3 Definisanje potrebnog kvaliteta vazduha pod pritiskom.....	17
2.2.4 Merenje kvaliteta vazduha pod pritiskom.....	18
2.3 Filteri vazduha pod pritiskom	18
2.3.1 Pad pritiska na filterima.....	19
2.4 Sušaći vazduha pod pritiskom	23
2.5 Energetska efikasnost sistema vazduha pod pritiskom.....	24
2.5.1 Curenje.....	26
2.5.2 Detekcija i kvantifikacija curenja.....	27
Poglavlje 3. Istraživanje i diskusija	29
3.1 Metodologija istraživanja	30
3.1.1 Faze istraživanja	30
3.1.2 Istraživačke metode.....	32
3.1.3 Laboratorije i oprema za eksperimentalni rad	33
3.2 Eksperiment I: Pad pritiska na različito povezanim filterima	42
3.2.1 Postavka eksperimenta	43
3.2.2 Rezultati.....	46
3.3 Eksperiment II: Kvalitet vazduha na različito povezanim filterima	58

3.3.1	Postavka eksperimenta	58
3.3.2	Rezultati.....	60
3.4	Diskusija	63
3.4.1	Čestični filteri.....	64
3.4.2	Koalescentni filteri	67
3.4.3	Dodatni kriterijum za vrednovanje mogućih rešenja	71
	Poglavlje 4. Upravljanje kondenzatom sistema vazduha pod pritiskom.....	74
4.1	Regulativa EU u oblasti upravljanja otpadnim uljima	75
4.2	Regulativa SAD u oblasti upravljanja otpadnim uljima	76
4.3	Regulativa RS u oblasti upravljanja otpadnim uljima	78
4.3.1	Upravljanje otpadnim uljima	81
4.3.2	Klasifikacija otpada.....	84
4.3.3	Strategija upravljanja otpadom u RS za period 2010 – 2019.....	88
4.4	Eksperiment III: Utvrđivanje sadržaja kondenzata	89
4.4.1	Klasifikacija kondenzata sistema vazduha pod pritiskom.....	92
4.5	Diskusija	93
	Poglavlje 5. Zaključci i pravci daljih istraživanja	97
	Literatura.....	100
	Prilozi.....	107
Prilog 1.	Grafički prikaz svih rezultata merenja.....	108
Prilog 2.	Indeks Kataloga otpada.....	116
Prilog 3.	Grupe 12 i 13 Kataloga otpada	117
Prilog 4.	H lista - Karakteristike otpada koje ga čine opasnim	119

Spisak slika

Slika 1. Veza sistema vazduha pod pritiskom sa okolinom	10
Slika 2. Koncentracija zagađivača u vazduhu a) pre i b) posle kompresije.....	12
Slika 3. Nataložena nečistoća na površini filterskog uložka.....	14
Slika 4. Vrste filterskih uložaka, a) filterski uložak čestičnog filtera, najčešći stepeni filtracije 40 i 5 μm , b) filterski uložak koalescentnog filtera, najčešći stepen filtracije 1 μm , c) filterski uložak sa aktivnim ugljem	19
Slika 5. Uređaji za merenje pada pritiska a) dva manometra, b) relativni pokazivač pada pritiska, c) apsolutni pokazivač pada pritiska - analogni, d) apsolutni pokazivač pada pritiska - digitalni	21
Slika 6. Bežični sistem za nadzor stanja filterskih uložaka u pneumatskim sistemima - verzija 1, a) bazna i b) senzorska jedinica.....	21
Slika 7. Bežični sistem za nadzor stanja filterskih uložaka u pneumatskim sistemima - verzija 2, a) senzorska i b) bazna jedinica.....	22
Slika 8. Izgled Visual Basic aplikacije na računaru	23
Slika 9. Položaj filtera srednjeg protoka u Fazi II istraživanja	30
Slika 10. Položaj filtera niskog protoka u Fazi III istraživanja	31
Slika 11. Položaj dva paralelno vezana filtera niskog protoka u Fazi III istraživanja	31
Slika 12. Položaj tri paralelno vezana filtera niskog protoka u Fazi III istraživanja	31
Slika 13. Merni uređaj AirBox.....	35
Slika 14. Merni uređaj HandiLaz Mini brojač čestica.....	35
Slika 15. Difuzor visokog pritiska HPD III.....	36
Slika 16. Integrisani uređaj za daljinski nadzor pada pritiska na filterima vazduha pod pritiskom sa upotrebom dva manometra	37
Slika 17. Kompresor Panair System HD105CVBi	37
Slika 18. Poprečni presek i fotografija čestičnog filtera	38
Slika 19. Poprečni presek i fotografija koalescentnog filtera	39
Slika 20. Dräger indikatorske cevčice a) 5/a-P, b) 10/a-P i c) 1/a.....	40
Slika 21. Reakcije u indikatorskim cevčicama 1/a u zavisnosti od količine ulja	41
Slika 22. Pad pritiska na filteru u funkciji protoka	43
Slika 23. Shema povezivanja opreme pri merenju pada pritiska na jednom filteru niskog/srednjeg protoka	44
Slika 24. Shema povezivanja opreme pri merenju pada pritiska na dva paralelno vezana filtera niskog protoka	44
Slika 25. Shema povezivanja opreme pri merenju pada pritiska na tri paralelno vezana filtera niskog protoka	44
Slika 26. Shema promena parametara testiranja pri merenju pada pritiska	46
Slika 27. Fotografija a) dva i b) tri paralelno vezana filtera u fazi III sprovođenja eksperimenta ...	49
Slika 28. Pad pritiska na čestičnim filterima, stepena filtracije 40 μm , pri pritisku od 6 bar	56
Slika 29. Pad pritiska na čestičnim filterima, stepena filtracije 5 μm , pri pritisku od 6 bar.....	56

Slika 30. Pad pritiska na koalescentnim filterima, stepena filtracije 1 μm , pri pritisku od 6 bar	57
Slika 31. Pad pritiska na koalescentnim filterima, stepena filtracije 0,01 μm , pri pritisku od 6 bar	57
Slika 32. Shema promena parametara testiranja pri merenju kvaliteta vazduha	58
Slika 33. Shema povezivanja opreme pri merenju kvaliteta vazduha na jednom filteru srednjeg/niskog protoka	59
Slika 34. Shema povezivanja opreme pri merenju kvaliteta vazduha na dva paralelno vezana filtera niskog protoka	59
Slika 35. Shema povezivanja opreme pri merenju kvaliteta vazduha na tri paralelno vezana filtera niskog protoka	59
Slika 36. Poređenje vrednosti pada pritiska za različite kombinacije filtera	63
Slika 37. Pad pritiska, pri pritisku od 6 bar i protoku 600 Nl/min, i cene čestičnih filtera	64
Slika 38. Pad pritiska, pri pritisku od 6 bar i protoku 400 Nl/min, i cene koalescentnih filtera	68
Slika 39. Algoritam dodeljivanja indeksnog broja otpadu	86
Slika 40. Mesto uzorkovanja kondenzata iz sistema vazduha pod pritiskom	90
Slika 41. Originalno mineralno ulje (levo) i uzorak kondenzata (desno)	90
Slika 42. Gasno hromatografski profil ekstrakta uzorka kondenzata	91
Slika 43. Gasno hromatografski profil rastvora originalnog ulja	91
Slika 44. Algoritam upravljanja otpadnim uljima	96
Slika P1. Pad pritiska na čestičnim filterima, stepena filtracije 40 μm , pri pritisku od 5 bar	108
Slika P2. Pad pritiska na čestičnim filterima, stepena filtracije 40 μm , pri pritisku od 4 bar	108
Slika P3. Pad pritiska na čestičnim filterima, stepena filtracije 40 μm , pri pritisku od 3 bar	109
Slika P4. Pad pritiska na čestičnim filterima, stepena filtracije 40 μm , pri pritisku od 2 bar	109
Slika P5. Pad pritiska na čestičnim filterima, stepena filtracije 5 μm , pri pritisku od 5 bar	110
Slika P6. Pad pritiska na čestičnim filterima, stepena filtracije 5 μm , pri pritisku od 4 bar	110
Slika P7. Pad pritiska na čestičnim filterima, stepena filtracije 5 μm , pri pritisku od 3 bar	111
Slika P8. Pad pritiska na čestičnim filterima, stepena filtracije 5 μm , pri pritisku od 2 bar	111
Slika P9. Pad pritiska na koalescentnim filterima, stepena filtracije 1 μm , pri pritisku od 5 bar ..	112
Slika P10. Pad pritiska na koalescentnim filterima, stepena filtracije 1 μm , pri pritisku od 4 bar	112
Slika P11. Pad pritiska na koalescentnim filterima, stepena filtracije 1 μm , pri pritisku od 3 bar	113
Slika P12. Pad pritiska na koalescentnim filterima, stepena filtracije 1 μm , pri pritisku od 2 bar	113
Slika P13. Pad pritiska na koalescentnim filterima, stepena filtracije 0,01 μm , pri pritisku od 5 bar ...	114
Slika P14. Pad pritiska na koalescentnim filterima, stepena filtracije 0,01 μm , pri pritisku od 4 bar ...	114
Slika P15. Pad pritiska na koalescentnim filterima, stepena filtracije 0,01 μm , pri pritisku od 3 bar ...	115
Slika P16. Pad pritiska na koalescentnim filterima, stepena filtracije 0,01 μm , pri pritisku od 2 bar ...	115

Spisak tabela

Tabela 1. Veličine najčešćih zagađivača vazduha pod pritiskom	13
Tabela 2. Standard za kvalitet vazduha pod pritiskom ISO 8573.1:2010.....	15
Tabela 3. Preporučene klase kvaliteta vazduha pod pritiskom za različite aplikacije	16
Tabela 4. Tačke rose koje se postižu odgovarajućim vrstama sušača	24
Tabela 5. Curenje vazduha pod pritiskom u funkciji pritiska i veličine otvora	27
Tabela 6. Vrste i stepen filtracije korišćenih filtera u fazama II i III istraživanja	30
Tabela 7. Poređenje varijanti filtera niskog i srednjeg protoka za ispitivane vrste filtera	43
Tabela 8. Pad pritiska na čestičnom filteru srednjeg protoka, filtracije 40 µm	47
Tabela 9. Pad pritiska na čestičnom filteru niskog protoka, filtracije 40 µm	47
Tabela 10. Pad pritiska na dva paralelno vezana čestična filtera niskog protoka, filtracije 40 µm	48
Tabela 11. Pad pritiska na tri paralelno vezana čestična filtera niskog protoka, filtracije 40 µm	48
Tabela 12. Pad pritiska na čestičnom filteru srednjeg protoka, filtracije 5 µm	49
Tabela 13. Pad pritiska na čestičnom filteru niskog protoka, filtracije 5 µm	50
Tabela 14. Pad pritiska na dva paralelno vezana čestična filtera niskog protoka, filtracije 5 µm	50
Tabela 15. Pad pritiska na tri paralelno vezana čestična filtera niskog protoka, filtracije 5 µm	51
Tabela 16. Pad pritiska na koalescentnom filteru srednjeg protoka, filtracije 1 µm	51
Tabela 17. Pad pritiska na koalescentnom filteru niskog protoka, filtracije 1 µm	52
Tabela 18. Pad pritiska na dva paralelno vezana koalescentna filtera niskog protoka, filtracije 1 µm	52
Tabela 19. Pad pritiska na tri paralelno vezana koalescentna filtera niskog protoka, filtracije 1 µm	53
Tabela 20. Pad pritiska na koalescentnom filteru srednjeg protoka, filtracije 0,01 µm	53
Tabela 21. Pad pritiska na koalescentnom filteru niskog protoka, filtracije 0,01 µm	54
Tabela 22. Pad pritiska na dva paralelno vezana koalescentna filtera niskog protoka, filtracije 0,01 µm	54
Tabela 23. Pad pritiska na tri paralelno vezana koalescentna filtera niskog protoka, filtracije 0,01 µm	54
Tabela 24. Rezultati merenja kvaliteta vazduha pod pritiskom za posmatrane kombinacije filtera	60
Tabela 25. Svođenje dobijenih rezultata na vrednosti prema standardu ISO 8573.1	61
Tabela 26. Utvrđene klase kvaliteta vazduha pod pritiskom za posmatrane kombinacije filtera i poređenje sa preporukama proizvođača	62
Tabela 27. Troškovi instalacije i eksploatacije varijanti čestičnih filtera tokom životnog ciklusa	65
Tabela 28. Godišnje uštede za razmatrane varijante čestičnih filtera u toku jedne godine	66
Tabela 29. Troškovi životnog ciklusa za 10 godina, za sve varijante čestičnih filtera	67
Tabela 30. Troškovi instalacije i eksploatacije varijanti koalescentnih filtera tokom životnog ciklusa	69
Tabela 31. Godišnje uštede za sve varijante koalescentnih filtera	70
Tabela 32. Troškovi životnog ciklusa za 10 godina, za sve varijante koalescentnih filtera	70
Tabela 33. Troškovi životnog ciklusa za 10 godina, sa uračunatim troškovima otkaza jednog čestičnog filtera	72
Tabela 34. Troškovi životnog ciklusa za 10 godina, sa uračunatim troškovima otkaza jednog koalescentnog filtera	72

Spisak skraćenica

CFR	Code of Federal Regulations
CP	Clean Production
EnMS	Energy Management System
EPA	Environmental Protection Agency
EPC	Event-driven Process Chain
EPI	Environmental Performance Indicators
ISO	International Organization for Standardization
ISP	Indicators of Sustainable Production
NRIZ	Nacionalni registar izvora zagađivanja
PDCA	Plan Do Check Act
PDP	Pressure Dew Point
RCRA	Resource Conservation and Recovery Act
WFD	Waste Framework Directive 2008/98/EC

Rezime

Smanjenje potrošnje fosilnih goriva i manja emisija gasova staklene bašte, kao i povećanje udela obnovljivih izvora energije su od suštinskog značaja za održivi razvoj. Kako bi se obezbedio održivi razvoj, potrebno je i industrijsku proizvodnju organizovati na održivi način, uz što manje negativnih efekata na životnu sredinu i minimalizaciju trošenja prirodnih resursa.

U industrijskom sektoru, kao najvećem potrošaču energije, postoji mnogo mogućnosti za ostvarivanje uštede. Jedna od njih je i smanjenje potrošnje energije u sistemima vazduha pod pritiskom. Brojni su zagađivači koji se mogu naći u vazduhu pod pritiskom (čvrste čestice, voda i ulje). Kako bi se dobio vazduh pod pritiskom sa prihvatljivim nivoom zagađivača potrebno je primeniti različite vrste i broj filtera za vazduh pod pritiskom. Vrsta, broj i način povezivanja filtera u sistemu za distribuciju vazduha pod pritiskom u značajnoj meri utiču na energetske efikasnost sistema ili dela sistema, a samim tim i na održivost proizvodnje. Filteri prouzrokuju pad pritiska i ukoliko se taj pad smanji, smanjuje se i ukupna količina proizvedenog vazduha pod pritiskom.

Osim toga, potrebno je voditi računa o kondenzatu koji se izdvaja iz sistema vazduha pod pritiskom. U kondenzatu sistema vazduha pod pritiskom često je prisutna određena količina (kompresorskog) ulja, pa se takav kondenzat mora odložiti na način da ne utiče štetno na životnu sredinu. Odnosno, treba ga tretirati u skladu sa principima održive proizvodnje.

Istraživanje u okviru disertacije je podeljeno na dva dela:

- prvi deo obuhvata merenje pada pritiska na različitim kombinacijama filtera vazduha pod pritiskom niskog protoka, za čestične i koalescentne filtere, uz promenu parametara: protoka i pritiska vazduha, kao i na jednom filteru srednjeg protoka pod istim uslovima.
- drugi deo obuhvata laboratorijsku analizu kondenzata iz sistema vazduha pod pritiskom, (određivanje sadržaja ulja u kondenzatu), radi definisanja načina daljeg upravljanja kondenzatom, u skladu sa regulativom u Republici Srbiji.

Date su preporuke za korišćenje određenog broja filtera vazduha pod pritiskom i način njihovog postavljanja na cevovode u sistemu, iz aspekta postizanja odgovarajućeg kvaliteta vazduha pod pritiskom, a uz smanjenje pada pritiska vazduha, odnosno, zadovoljenje principa povećanja energetske efikasnosti.

Takođe, predstavljena je procedura koja jasno, nedvosmisleno i jednostavno definiše korake koji se moraju sprovesti kako bi se kondenzat iz sistema vazduha pod pritiskom odložio na način bezopasan po životnu sredinu, zajedno sa zakonskim i podzakonskim aktima Republike Srbije koje treba poštovati u tom procesu.

Primena rezultata je moguća u svim industrijskim postrojenjima u kojima postoji sistem vazduha pod pritiskom, od najprostijih sistema sa jednim kompresorom i jednim filterom vazduha pod pritiskom, pa do sistema sa više kompresora i više filtera.

Abstract

Reducing fossil fuel consumption, lowering greenhouse gases emissions and increasing the share of renewable energy sources are essential for sustainable development. To ensure sustainable development, it is necessary to organise industrial production in a sustainable manner, with minimal adverse effects on the environment and minimising consumption of natural resources.

In the industrial sector, as the largest consumer of energy, there are many possibilities for achieving savings. One of them is the reduction of energy consumption in compressed air systems. There are numerous pollutants which could be found in the compressed air (solid particles, oil and water). In order to obtain the compressed air with an acceptable level of contaminants, it is required to apply a number of different types of filters for compressed air. Their type, number and the way of connecting on the distribution network of compressed air has a significant impact on the energy efficiency of the system or its part, and hence the sustainability of production. Filters are causing a pressure drop, and if the drop is reduced, it reduces the total amount of produced compressed air.

In addition, special attention should be paid on the condensate which is removed from the compressed air system. The condensate from compressed air system is often contaminated with a certain amount of (compressor) oil, so the condensate must be disposed of in a manner that does not adversely affect the environment. It should be treated in accordance with the principles of sustainable production.

The study within this dissertation was divided into two parts:

The first part encompasses the measuring of pressure drop on the different combinations of the low flow rate particulate and coalescing filters, by changing parameters: the flow rate and the pressure, as well as medium flow rate filter, under the same conditions.

The second part involves laboratory analysis of condensate from the compressed air system (determining the oil content in the condensate), to define ways of further condensate management, in accordance with the regulations of the Republic of Serbia.

At the end are given recommendations for usage of specific number of compressed air filters and the way of their connection on the distribution system, from the standpoint of achieving adequate quality of compressed air and the reduction of pressure drop of compressed air, i.e., satisfying the principle of increasing energy efficiency.

Also, the procedure for condensate management is presented. This procedure clearly, unequivocally and easily defines the steps that must be implemented in order to dispose of condensate from the compressed air system air in environmentally friendly way. It is given the list of laws and regulations of the Republic of Serbia, which should be consulted during this procedure.

Application of the achieved results is possible in all industrial applications where exists compressed air system, from the simplest system with a compressor and a compressed air filter, to systems with multiple compressors and more filters.

Poglavlje 1

Uvod - Održiva proizvodnja

Tokom XX veka, industrijska proizvodnja je povećana 40 puta, a korišćenje energije 16 puta u istom periodu. Populacija na Zemlji je porasla sa 1,5 na 6 milijardi (Nilson et al., 2007). Danas Zemlju naseljava oko 7,2 milijarde ljudi, a procene su da će do 2050. godine broj ljudi porasti na 9,5 milijardi (Haub and Kaneda, 2013).

U vremenu sve veće globalizacije i sve većih potreba rastućeg broja stanovnika, a samim tim i velikog trošenja prirodnih resursa i emitovanja zagađujućih materija u vazduh, zemljište i vodu, sve je prisutnije nastojanje za obezbeđenjem kvalitetnih proizvoda i usluga, istovremeno vodeći računa o bezbednosti, pouzdanosti, efikasnosti, zaštiti životne sredine i održivom razvoju (Tronville, 2008). Rast stanovništva i povećana industrijska proizvodnja dovode do povećanja eksploatacije prirodnih resursa, vazduha, vode, zemljišta, goriva, ruda i ostalih mnogobrojnih sirovina. Procenjuje se da se 40-80 t sirovina godišnje potroši po osobi u industrijski razvijenim zemljama, i većina tih materijala se upotrebi samo jednom, a potom odloži kao otpad (Allen, 2004). Dostupnost resursa je od vitalnog značaja za razvoj i industrijalizaciju društva. Usled nemilosrdne eksploatacije prirodnih resursa, dolazi do značajnih klimatskih promena, sa sve češćim pojavama prirodnih katastrofa (poplave, suše, uragani, itd).

Smanjenje potrošnje fosilnih goriva i manja emisija gasova staklene bašte, kao i povećanje udela obnovljivih izvora energije su od suštinskog značaja za održivi razvoj. Još 1997. godine, potpisan je Kjoto protokol, gde se 191 država obavezala na smanjenje emisije gasova koji izazivaju efekat staklene bašte (United Nations, 1998). Međutim, 17 godina kasnije, evidentno je da ovaj sporazum nije sproveden u praksi. Tako je emisija CO₂ u 2011. godini dostigla novi rekord, odnosno 34 milijarde tona CO₂ (2010. godine oko 33,2 milijarde tona). Ako se sadašnji trend nastavi, 2020. godine se može očekivati povećanje od 20%, odnosno, više od 40 milijarde tona emisije CO₂. Poređenja radi, 1990. emisija CO₂ iznosila je 22,7 milijarde tona (IWR, 2012).

Sve su veća nastojanja za primenu koncepta održivog razvoja. Održivi razvoj podrazumeva "razvoj koji zadovoljava potrebe sadašnjosti bez ugrožavanja mogućnosti budućih generacija da zadovolje svoje potrebe" (Hamner, 1996).

Kako bi se obezbedio održivi razvoj, neophodno je proizvodnju organizovati na način da ima što manje negativnih efekata na životnu sredinu, uz istovremenu minimalizaciju trošenja prirodnih resursa, odnosno, potrebno je primeniti koncept održive proizvodnje. Održiva proizvodnja podrazumeva procese i sisteme koji ne zagađuju ili u dozvoljenoj meri zagađuju okolinu, doprinose očuvanju energije i prirodnih resursa, koji su ekonomski održivi, bezbedni i zdravi, kako za zaposlene, tako i za zajednicu. Koncept održive proizvodnje zasniva se na sledećim principima (Hamner, 1996; Mulder, 2006; Nilson et al., 2007):

- minimizacija otpada,
- upravljanje otpadom,
- prevencija zagađenja,
- upravljanje zagađenjem,
- reciklaža,
- racionalna potrošnja energije,
- zatvoreni tok korišćenja neobnovljivih resursa,
- povećanje energetske efikasnosti,
- upotreba obnovljivih materijala i izvora energije,
- čist(ij)a proizvodnja.

Primena ovih principa, uz istovremeno sprovođenje strategije za zaštitu životne sredine, kao i unapređenje tehnologije, obezbeđuje procese i proizvode, sa manjim rizikom po ljudsko zdravlje i životnu sredinu. Na taj način obezbeđuje se upotreba manje količine resursa i energije, uz eliminisanje toksičnih sirovina, a samim tim i smanjenje količine i toksičnosti otpada i emisija u vazduh, vodu i/ili zemljište. Održiva proizvodnja se zasniva na poštovanju dobro poznatog pravila da je bolje i jeftinije sprečiti pojavu događaja sa negativnim posledicama na životnu sredinu, nego popravljati efekte nakon što se takav događaj desi. Primenjujući navedene principe, kompanije iz procesa stalnog poboljšanja, postepeno prelaze u proces reorganizacije proizvodnje. Cilj je postizanje nulte emisije štetnih materija i stvaranje procesa u kome svi ulazni materijali bivaju pretvoreni u proizvod, koji se potom ili prodaje ili koristi u drugom procesu.

Ljudske aktivnosti su glavni uzročnik pogoršanja stanja životne sredine i gubitka prirodnih resursa. Zagađenje vazduha, vode i zemljišta su jedan od najvećih ekoloških izazova današnjice. U prošlosti, upravljanje zagađenjem (*pollution control*) je bilo rešenje za čistije okruženje. Upravljanje zagađenjem je podrazumevalo skup mera koje se odnose na upravljanje zagađenjem, nakon što je ono generisano. Međutim, u poslednjih nekoliko decenija se umesto “upravljanja zagađenjem” prelazi na koncept “sprečavanja zagađenja” (*pollution prevention* – u literaturi poznato i kao P^2) (Ramirez Harrington, 2013).

Imajući u vidu prethodne činjenice i dalje ostaje obaveza svih, a naročito privrednih subjekata, da sprovode koncept održivog razvoja, primenjujući principe održive proizvodnje. Pored aspekta zaštite životne sredine, održiva proizvodnja, počiva i na aspektu povišenja energetske efikasnosti. Pod pojmom energetske efikasnosti podrazumeva se primena različitih mera (tehničkih, tehnoloških, organizacionih, itd.) kojima se smanjuje potrošnja energije (Prašović et al., 2009). Smanjenje potrošnje energije se može ostvariti

apsolutim smanjenjem potrošnje, eliminisanjem tačaka na kojima se energija gubi, ili njenim efikasnijim korišćenjem (Jankeš and Stamenić, 2009).

Stepen održivosti proizvodnje meri se brojnim indikatorima održivosti (*ISP – Indicators of Sustainable Production*). Prisutna su mišljenja da nije moguće definisati jedinstvene pokazatelje održivosti koje se mogu primeniti na bilo koju kompaniju ili organizaciju. Brojni naučnici i organizacije (*ISO – International Organization for Standardization, GRI – Global Reporting Initiative, WBCSD – World Business Council for Sustainable Development, CWRT – Centre for Waste Reduction Technologies*) nastoje da definišu indikatore koji će najbolje opisati održivost industrijske proizvodnje (GRI, 2013a, 2013b; IAEA, 2005; Veleva and Ellenbecker, 2001). Veliki problem predstavlja definisanje indikatora održivosti koji mogu biti kvantitativno merljivi.

Jedan aspekt održive proizvodnje obuhvata upotrebu materijala i energije. U okviru ovog aspekta postavljeni su sledeći ciljevi: smanjenje potrošnje sveže vode, smanjenje potrošnje materijala, smanjenje potrošnje energije i povećanje učešća energije dobijene iz obnovljivih izvora (Fuchs and Lorek, 2010). Proizvodnja i potrošnja energije predstavljaju najveći izazov za održivi razvoj (Radgen and Blaustein, 2001). Većina metoda za proizvodnju energije ima negativni uticaj na životnu sredinu, bilo ispuštanjem gasova staklene bašte u atmosferu (CO₂, SO_x, NO_x) ili odlaganjem radioaktivnog otpada iz nuklearnih elektrana (US DOE, 2001).

Drugi aspekt održive proizvodnje predstavlja segment životne sredine i ljudskog zdravlja. U skladu sa tim otpad i hemijske supstance koji predstavljaju opasnost po ljudsko zdravlje ili životnu sredinu moraju biti reciklirani ili kontrolisano odlagani, a najbolje bi bilo kada bi se smanjilo njihovo generisanje u samim procesima proizvodnje (Veleva and Ellenbecker, 2001).

Svaka proizvodna organizacija treba da teži povećanju održivosti proizvodnje, u okviru čega je značajan segment povećanje energetske efikasnosti. Kao prilog tome ide i činjenica da je Svetska organizacija za standarde 2012. godine donela standard ISO 50001:2012 iz oblasti sistema menadžmenta energijom (Institut za standardizaciju Srbije, 2012). Glavni cilj ovog standarda je da omogući proizvodnim kompanijama da poboljšaju energetske performanse u svojim pogonima, obuhvatajući energetska efikasnost, korišćenje i potrošnju energije. Kao efekat ovog standarda trebalo bi da se javi smanjenje emisije gasova sa efektom staklene bašte i drugih uticaja na životnu sredinu. Ovaj standard koncipiran je tako da specificira zahteve za sistem menadžmenta energijom (*EnMS – Energy Management System*) i može se primeniti na sve tipove i veličine organizacija, a takođe je primenljiv bez obzira na vrstu energije koja se koristi.

Primena ovog standarda ima za cilj da pomogne kompanijama da:

- efikasnije koriste raspoložive izvore energije,
- unaprede konkurentnost,
- obezbede transparentnost potrošnje energije,
- implementiraju nova energetska efikasna tehnološka rešenja,
- smanje emisiju gasova sa efektom staklene bašte, kao i druge negativne uticaje na životnu sredinu.

Implementiranjem sistema menadžmenta energijom organizacija može da razvije i primeni energetske politiku i da uspostavi opšte i posebne ciljeve i akcione planove, kako bi poboljšala svoje energetske performanse.

Koncept predmeta i područja primene, kao i granica sistema, dozvoljavaju organizaciji fleksibilnost da definiše šta je uključeno u EnMS. Na primer, organizacija može da smanji svoje vršno opterećenje, koristi višak energije ili poboljša rad svojih sistema, procesa ili opreme.

Ovaj međunarodni standard je zasnovan na PDCA (*PDCA – Plan Do Check Act*, odnosno Planiraj Uradi Proveri Deluj) metodologiji stalnog poboljšavanja i obuhvata menadžment energijom u svakodnevnom radu organizacije:

- Planiraj - podrazumeva energetske preispitivanje i uspostavljanje opštih i posebnih ciljeva i akcionih planova, potrebnih za dobijanje rezultata koji će poboljšati energetske performanse,
- Uradi – podrazumeva primenu akcionih planova menadžmenta energijom,
- Proveri – obuhvata praćenje i merenje procesa i ključnih karakteristika koje određuju energetske performanse u odnosu na politiku i opšte ciljeve,
- Deluj – podrazumeva preduzimanje mera kako bi se stalno unapređivale energetske performanse i sistem menadžmenta energijom (EnMS).

Očekivanja su da će se primenom ovog standarda omogućiti uštede u potrošnji energije i do 60% (INFOR, 2012).

1.1 Održiva proizvodnja i sistemi vazduha pod pritiskom

U industrijskom sektoru, kao najvećem potrošaču energije, postoji mnogo načina za ostvarivanje uštede. Tu se svakako ubrajaju i sistemi vazduha pod pritiskom budući da su zastupljeni u skoro svakom industrijskom postrojenju.

Ukoliko se pod svetlom održive proizvodnje posmatra proces filtracije u sistemima vazduha pod pritiskom, može se zaključiti sledeće:

- treba konstantno povećavati energetske efikasnost sistema vazduha pod pritiskom. Prvenstveno treba eliminisati mesta na kojima se gubi vazduh pod pritiskom, a potom treba raditi na smanjenju potrošnje vazduha pod pritiskom (npr. redukcijom pritiska).
- treba voditi računa o kvalitetu vazduha pod pritiskom. Neophodno je efikasno koristiti filtere vazduha pod pritiskom, u smislu redukcije gubitaka na filterima i obezbeđenja odgovarajućeg kvaliteta vazduha pod pritiskom.
- odlagati kondenzat izdvojen iz sistema vazduha pod pritiskom vodeći računa o očuvanju životne sredine. Sa tim u skladu, ustanovljen je standard ISO 8573.1:2010, koji definiše kvalitet vazduha pod pritiskom.

Ukoliko se posmatraju indikatori održivosti iz aspekta potrošnje energije, jedan od indikatora ovog aspekta jeste i potrošnja energije izražena u kWh. Oko 10% električne energije koja se troši od strane industrijskog sektora, potroši se na proizvodnju vazduha pod pritiskom (Radgen and Blaustein, 2001; USDOE, 2001). U Srbiji taj procenat iznosi

8% (Šešlija, et al., 2011). Budući da kompresori troše struju za proizvodnju vazduha pod pritiskom, relativno je lako odrediti ukupnu količinu električne energije koja se potroši za dobijanje vazduha pod pritiskom.

Načini smanjenja potrošnje vazduha pod pritiskom, a od značaja za predmet istraživanja ove disertacije, su efikasno korišćenje filtera (Šešlija, Ignjatović and Dudić, 2011), u smislu redukcije gubitaka na filterima (Ignjatović et al., 2012; Šešlija et al., 2010; Šešlija, Ignjatović, Tarjan, et al., 2011) uz obezbeđenje odgovarajućeg kvaliteta vazduha pod pritiskom (Domnick Hunter, 2005, 2007; ISO, 2010; Parker Hannifin, 2009). Ukoliko bi se smanjio pad pritiska koji se javlja na filterima vazduha, smanjila bi se i ukupna količina proizvedenog vazduha pod pritiskom, što bi skratilo vreme rada kompresora, odnosno broj utrošenih kWh.

Osim pada pritiska, koje filteri prouzrokuju, kao nusproizvod filtracije javlja se kondenzat, koji se generiše u njima. Kondenzat koji se izdvaja iz sistema vazduha pod pritiskom, treba tretirati u skladu sa ovim aspektom održive proizvodnje. Budući da se kondenzat može kvantifikovati kao jedinica zapremine u jedinici vremena, i u ovom slučaju se može pratiti poseban indikator održivosti proizvodnje.

Kako bi se poštovao princip održive proizvodnje u delu sistema vazduha pod pritiskom, potrebno je usmeriti pažnju na kvalitet vazduha pod pritiskom. Kvalitet vazduha pod pritiskom je od značaja za efikasnost i održivost proizvodnih procesa. Pravilnim definisanjem potrebnog kvaliteta vazduha pod pritiskom može se postići značajna ušteda. Priprema vazduha do nivoa većeg nego što je potrebno, iziskuje povećane troškove. Sa druge strane, ukoliko vazduh, koji sadrži više zagađivača nego što je dozvoljeno, dođe u dodir sa proizvodima ili sa nekim komponentama koje nisu u stanju da rade sa takvim vazduhom pod pritiskom, to može da ima značajne negativne posledice i izuzetno visoku cenu.

Trenutno važeći standard koji reguliše klase kvaliteta vazduha pod pritiskom je ISO 8573.1 iz 2010. godine (ISO, 2010). Ovim standardom se može jednoznačno opisati stepen čistoće vazduha pod pritiskom, u bilo kojem delu sistema vazduha pod pritiskom, u odnosu na tri vrste zagađivača:

- *čvrste čestice*, gde se definiše maksimalan dozvoljeni broj čestica po kubnom metru vazduha pod pritiskom, i to za tri grupe čestica u zavisnosti od njihove veličine,
- *vodu*, podrazumeva maksimalnu dozvoljenu količinu vlage u vazduhu pod pritiskom, i
- *ulje*, podrazumeva maksimalnu dozvoljenu količinu ulja i uljnih para u vazduhu pod pritiskom.

Da je optimalan kvalitet vazduha pod pritiskom za određeni proces veoma teško definisati, može se zaključiti na osnovu standarda koji uređuje ovu oblast. Svetska organizacija za standarde (ISO) je u poslednjih dvadesetak godina, objavila tri verzije standarda koji definiše klase kvaliteta vazduha pod pritiskom. Tako je 1991. godine objavljena prva verzija standarda ISO 8573:1991. Deset godine kasnije objavljena je nova verzija standarda u kojoj je došlo do značajnih promena u smislu pooštrenja uslova koje

određena klasa kvaliteta vazduha pod pritiskom treba da ispuni. Poslednji objavljen, ISO 8573 iz 2010. godine, donosi nove izmene u smislu smanjenja zahteva koje treba da zadovoljava vazduh pod pritiskom.

Obezbeđenje potrebne klase kvaliteta vazduha pod pritiskom postiže se upotrebom sušača i filtera. Ako se posmatraju tri komponente koje definišu kvalitet vazduha pod pritiskom, sušačima se eliminiše jedna od njih, odnosno vlaga u vazduhu. Preostale dve komponente, čvrste čestice i ulje, se iz vazduha pod pritiskom uklanjaju filtracijom.

Istraživanje obuhvaćeno ovom disertacijom bavi se segmentom filtracije. Analizirana je efikasnost filtera, odnosno količine vode i ulja u vazduhu pod pritiskom nakon filtracije, a sve iz aspekta pada pritiska koji se javlja na njima, kao pokazatelja smanjenja potrošnje energije.

Sa druge strane, neophodno je razmotriti i proizvode procesa sušenja i filtracije. I u jednom i u drugom slučaju, glavni proizvod je vazduh pod pritiskom poboljšanog kvaliteta od ulaznog. Proces sušenja kao rezultat daje i izdvojenu vodenu paru, koja se slobodno ispušta u atmosferu, jer ne predstavlja opasnost po okolinu. Prilikom filtracije vazduha pod pritiskom izdvaja se kondenzat kojim treba upravljati. Budući da atmosferski vazduh, koji se kompresuje, sadrži različite tipove zagađivača i da se u kompresoru nalazi ulje za podmazivanje, u filterima vazduha se vrši izdvajanje većine ovih čestica. Prisustvo ulja čini da se kondenzat iz sistema vazduha pod pritiskom svrstava u vrste otpada opasnih po životnu sredinu, koji zahteva poseban tretman.

1.2 Predmet istraživanja

Brojni su zagađivači koji se mogu naći u vazduhu pod pritiskom, a svi se mogu podeliti na čvrste čestice, vodu i ulje. Kako bi od atmosferskog vazduha dobili vazduh pod pritiskom određenog stepena čistoće potrebno je primeniti različite vrste i broj filtera za vazduh pod pritiskom. Vrsta, broj i način povezivanja filtera na sistem za distribuciju vazduha pod pritiskom u značajnoj meri utiču na energetska efikasnost sistema ili dela sistema, a samim tim i na održivost proizvodnje.

Predmet istraživanja ove disertacije je usmeren na analizu uticaja kvaliteta vazduha pod pritiskom na održivost proizvodnje iz aspekta efikasnosti filtera, odnosno koncentracije čvrstih čestica, količine vode i ulja u vazduhu pod pritiskom nakon filtracije, dok se energetska efikasnost filtera ocenjuje na osnovu pada pritiska koji se javlja na njima.

Pravilno projektovan i postavljen sistem vazduha pod pritiskom ne bi trebalo da ima pad pritiska veći od 10%, meren na izlasku iz kompresora ili rezervoara i mesta upotrebe vazduha pod pritiskom (Barber, 1997). Za eliminaciju povećanog pada pritiska, kompresor mora da radi povećanim kapacitetom kako bi podmirio, pored stvarnih potreba za vazduhom pod pritiskom u fabrici, i veštačke potrebe sistema, dok se efikasno koristi samo onaj pritisak koji ostaje nakon gubitaka.

Međutim, cilj korisnika sistema vazduha pod pritiskom ne bi trebala biti granica od 10% dozvoljenog pada pritiska. Što je manji pad pritiska u sistemu, to je sistem efikasniji. U efikasnijem sistemu se proizvodnja približava potrebama za vazduhom, a samim tim se i smanjuje potrošnja energije. Danas se veliki značaj posvećuje upravo štednji energije i smanjenju njene neefikasne upotrebe, kako bi se smanjio negativan uticaj na životnu sredinu.

Osim istraživanja o efikasnosti filtera, posebna je posvećena kondenzatu iz sistema vazduha pod pritiskom koji zahteva poseban tretman. Naime, u kondenzatu iz sistema vazduha pod pritiskom često je prisutna određena količina (kompresorskog) ulja, pa se takav kondenzat mora odložiti na način da ne utiče štetno na životnu sredinu. U tom smislu, drugi deo istraživanja je usmeren ka analizi kondenzata iz sistema vazduha pod pritiskom i njegovom upravljanju nakon ispuštanja iz sistema. Pored toga, razmatrana je i regulativa za upravljanje ovakvom vrstom otpada. Detaljno je analizirana postojeća regulativa koja je na snazi u Republici Srbiji, kao i analiza regulativa u Evropskoj uniji i SAD, sa kritičkim osvrtom na nedostatke regulative u našoj zemlji i predlozima za njeno unapređenje.

1.3 Cilj istraživanja i očekivani rezultati

Opisano istraživanje proizilazi iz potrebe za definisanjem preporuka o realizaciji kvaliteta vazduha pod pritiskom u delu filtracije vazduha pod pritiskom na energetske efikasan način, u datim uslovima, odnosno, pri određenim pritiscima i protocima u sistemima vazduha pod pritiskom, u skladu sa zahtevanim kvalitetom vazduha pod pritiskom.

Jedan od ciljeva istraživanja predstavlja dobijanje preporuka za korišćenje određenog broja filtera vazduha pod pritiskom i način njihovog postavljanja na cevovode u sistemu, iz aspekta postizanja odgovarajućeg kvaliteta vazduha pod pritiskom, a uz zadovoljenje principa povećanja energetske efikasnosti. Budući da se filteri mogu postavljati na različite načine na cevovode, npr. jedan filter sa velikim protokom, ili više filtera sa manjim protokom, redno ili paralelno povezani, cilj je odrediti koja kombinacija filtera je optimalna, iz aspekta smanjenja pada pritiska, i to za različite vrednosti protoka.

Jedan od očekivanih efekata disertacije je podizanje svesti proizvodnih organizacija da ulaganja u analizu i optimizaciju sistema vazduha pod pritiskom ne predstavljaju gubitke ili dodatne troškove, već naprotiv, mogućnosti za povećanje efikasnosti i održivosti proizvodnog procesa.

Druga, ne manje važna motivacija za istraživanjem, leži u nedovoljno jasnim procedurama za postupanje sa kondenzatom iz sistema vazduha pod pritiskom. Očekivani rezultat odnosi se na definisanje jasnih, nedvosmislenih i jednostavnih procedura koje moraju biti ispoštovane kako bi se kondenzat iz sistema vazduha pod pritiskom odložio na način bezopasan po životnu sredinu, a u skladu sa praksom koja se primenjuje u razvijenim zemljama.

Posebno se očekuju rezultati u preporukama za unapređenje zakonske regulative, po ugledu na zemlje EU i SAD, budući da u postojećoj regulativi Republike Srbija ima prostora za unapređenje u smislu definisanja jasnih procedura za upravljanje otpadnim uljima.

Rezultati ovih istraživanja treba da ukažu i na neophodne promene u dosadašnjem shvatanju filtracije vazduha pod pritiskom, odnosno na prevazilaženje nedostatka znanja u domenu upravljanja otpadnim uljima iz sistema vazduha pod pritiskom i njihovom energetsom efikasnošću.

1.4 Hipoteze

Iz predmeta istraživanja, u skladu sa postavljenim ciljevima istraživanja, i do sada postignutim rezultatima u polju predmetnog istraživanja, moguće je definisati sledeće hipoteze:

Hipoteza H1: Postoji veza između načina povezivanja filtera na vodove i pada pritiska.

Hipoteza H2: Odgovarajućom upotrebom određenog broja filtera i načinom njihovog povezivanja moguće je smanjiti pad pritiska u sistemu za distribuciju vazduha pod pritiskom.

Hipoteza H3: Moguće je odgovarajućom upotrebom određenog broja filtera i načinom njihovog povezivanja smanjiti pad pritiska u sistemu za distribuciju vazduha pod pritiskom, uz istovremeno obezbeđenje odgovarajućeg kvaliteta vazduha pod pritiskom.

1.5 Prikaz disertacije po poglavljima

Disertacija je organizovana tako da se sastoji iz pet poglavlja.

U Poglavlju 1. Uvod - održiva proizvodnja, dat je uvod u koncept održive proizvodnje, kao i primena principa održive proizvodnje u sistemima vazduha pod pritiskom. Opisani su predmeti istraživanja, cilj istraživanja i očekivani rezultati i postavljene su hipoteze istraživanja.

U Poglavlju 2. Teorijske osnove i pregled literature, predstavljen je sistemski prilaz povišenju energetske efikasnosti u sistemima vazduha pod pritiskom. Analizirani su sistemi vazduha pod pritiskom iz aspekta njihovog uticaja na održivost proizvodnje. Akcenat je stavljen na značaj efikasnog korišćenja filtera vazduha pod pritiskom i značaj upravljanja kondenzatom.

Date su osnovne informacije o kvalitetu vazduha pod pritiskom. Navedeni su izvori zagađenja i zagađivači koji se mogu naći u vazduhu pod pritiskom. Posebna pažnja je usmerena na standard kvaliteta vazduha pod pritiskom, na definisanje i merenje kvaliteta vazduha pod pritiskom, kao i kondenzat koji se sakuplja u sistemima vazduha pod pritiskom.

Deo drugog poglavlja je posvećen filtraciji vazduha pod pritiskom, tipovima filtera i načinu njihovog funkcionisanja. Posebna pažnja je usmerena na pad pritiska na filterima, kao jednom od pokazatelja energetske efikasnosti sistema, koji ima veliki uticaj na održivost proizvodnje.

Na kraju drugog poglavlja date su informacije o energetskej efikasnosti sistema vazduha pod pritiskom, odnosno problemu curenja, kao problemu koji se javlja nakon instaliranja komponenti za pripremu vazduha pod pritiskom u sistem. U skladu sa tim, predstavljena je nova metoda za detekciju i kvantifikaciju curenja.

U Poglavlju 3. Istraživanje i diskusija, dat je detaljan opis metodologije istraživanja, koje se odvija u četiri faze. Predstavljene su istraživačke metode, kao i oprema kojom je rađeno istraživanje.

Prva faza istraživanja obuhvata pregled stanja u oblasti istraživanja.

Potom sledi eksperimentalno istraživanje koje se sastoji iz dve celine.

Prva celina, faze II i III istraživanja, podrazumeva merenje pada pritiska na različito povezanim filterima. Data je detaljna postavka eksperimenata, predstavljeni su rezultati istraživanja, odnosno merenja pada pritiska na filterima vazduha pod pritiskom.

Druga celina istraživanja, podrazumeva utvrđivanje ostvarenog kvaliteta vazduha pod pritiskom za svaku od kombinacija broja i veličine filtera. Na kraju poglavlja data je diskusija dobijenih rezultata.

Poglavlje 4. Upravljanje kondenzatom sistema vazduha pod pritiskom, ujedno i faza IV istraživanja, je posvećeno eksperimentalnom utvrđivanju količine opasnih materija (ulja) u uzorkovanom kondenzatu iz korišćenog sistema vazduha pod pritiskom. Data je analiza regulative EU u oblasti upravljanja otpadnim uljima, kao i analiza regulative SAD. Težište poglavlja je na analizi regulative RS u oblasti upravljanja otpadnim uljima, sa kritičkim osvrtom na nju i predlozima za njeno unapređenje.

Napravljen je detaljni algoritam klasifikacije otpada prema *Katalogu otpada*, kako bi korisnici sistema vazduha pod pritiskom nedvosmisleno znali kako da upravljaju kondenzatom, nakon što ga izdvoje iz sistema vazduha pod pritiskom. Potom je predložen novi algoritam upravljanja otpadnim uljima, sa svim specifičnim slučajevima. Algoritam je napravljen tako da je njegova upotreba laka i jednostavna. Uz to, sadrži i spisak svih trenutno važećih dokumenata na koje treba obratiti pažnju u procesu upravljanja otpadnim uljima iz sistema vazduha pod pritiskom.

U Poglavlju 5. Zaključci i pravci daljih istraživanja, izvedeni su zaključci doktorske disertacije sa napomenom o mogućnostima primene očekivanih rezultata, uz naznačene pravce daljeg istraživanja.

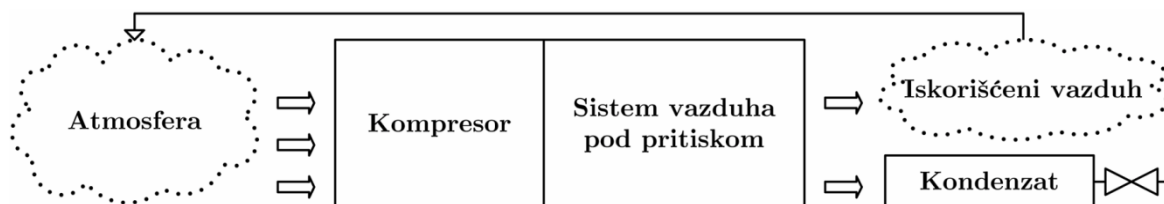
Poglavlje 2

Teorijske osnove i pregled literature

2.1 Sistemski prilaz

Vazduh pod pritiskom je bezbedan i pouzdan izvor energije i koristi se u više od 90% industrijskih postrojenja. Za razliku od električne energije, gasa ili vode, koji se takođe koriste u fabrikama, jedino se vazduh pod pritiskom generiše na samom mestu upotrebe. Celokupan ciklus od proizvodnje vazduha pod pritiskom, preko distribucije i upotrebe, odvija se u samoj fabrici. Upravo iz razloga što se može sagledati proces u celosti, postoji veliki broj mogućnosti za povećanje efikasnosti sistema vazduha pod pritiskom, bilo smanjenjem troškova proizvodnje, bilo regulisanjem pritiska, protoka, kvaliteta vazduha pod pritiskom, itd.

Odnos u kojem se sistem vazduha pod pritiskom nalazi sa okolinom predstavljen je na slici 1. Ulazna veličina u kompresor, a zatim i ostali deo sistema vazduha pod pritiskom, jeste atmosferski vazduh koji je dostupan u neograničenim količinama. Nakon kompresije ovakvog vazduha, a potom i njegovog korišćenja, kao izlazne veličine iz sistema vazduha pod pritiskom javljaju se iskorišćeni vazduh, takođe pod određenim pritiskom, i kondenzat izdvojen iz vazduha.



Slika 1. Veza sistema vazduha pod pritiskom sa okolinom

Prilikom ispuštanja u atmosferu vazduh je pod određenim pritiskom, ali se taj pritisak brzo izjednačava sa atmosferskim, tako da ne predstavlja nikakvu opasnost. Jedina neprijatnost koja se može desiti jeste velika količina buke koja se emituje prilikom ispuštanja vazduha pod pritiskom iz sistema, ukoliko na odzrakama nisu postavljeni

prigušivači zvuka. Osim toga, vazduh koji se nakon korišćenja ispušta iz sistema može da sadrži ulje, budući da mnogi sistemi sadrže zauljivače, čime se direktno zagađuje životna sredina.

Sa druge strane, kao izlazna veličina iz sistema vazduha pod pritiskom, javlja se i kondenzat. Kondenzat predstavlja nusproizvod sistema vazduha pod pritiskom i treba ga iz sistema eliminisati u što kraćem periodu nakon njegovog nastanka. Najveće učešće u kondenzatu sistema vazduha pod pritiskom ima voda. Voda se smatra i najvećim neprijateljem sistema vazduha pod pritiskom. Potom slede ulje, gasovi, čvrste čestice, mikroorganizmi, i sve ono što se nalazi i u atmosferskom vazduhu, budući da kompresor usisava sve na udaljenosti oko 3 m od usisne cevi.

Budući da se određena količina vlage uvek nalazi u vazduhu, tako je prisutna i u vazduhu pod pritiskom. Kolika količina vlage će biti prisutna u vazduhu pod pritiskom zavisi od relativne vlažnosti atmosferskog vazduha.

Količina vode i vodene pare u vazduhu pod pritiskom u direktnoj je zavisnosti od temperature vazduha, a u indirektnoj proporciji sa pritiskom vazduha, odnosno, što je temperatura veća, veća je i količina vlage u vazduhu (Fraunhofer ISI, 2006; Norgren, 2005). Primera radi, kompresor malog kapaciteta 2,8 Nm³/min, koji radi 4.000 sati u klimatskim uslovima tipičnim za severnu Evropu, može ubaciti u sistem vazduha pod pritiskom i do 10.000 l kondenzata godišnje (Domnick Hunter, 2007).

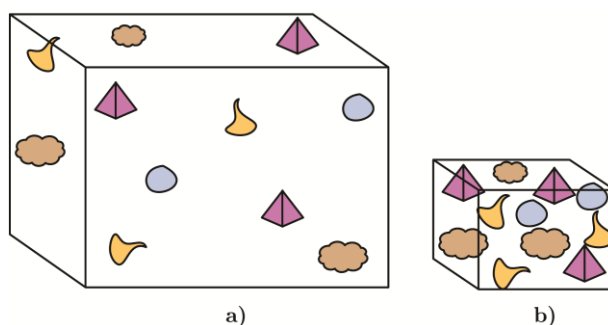
Jedna od bitnijih komponenti sistema vazduha pod pritiskom u borbi protiv vlage, jeste naknadni hladnjak. Njegova funkcija je da ohladi vazduh pod pritiskom, koji se prilikom kompresije ugrijao, do temperature koja može biti ulazna za sušač. Prilikom hlađenja dolazi do kondenzovanja vlage iz vazduha i stvara se tečna supstanca - kondenzat. Pored niske temperature, potrebno je obezbediti i visok pritisak, jer se u tim uslovima izdvaja najviše vlage iz vazduha pod pritiskom. Naknadni hladnjak potom uklanja i dobar deo vlage i nečistoća (Šešlija, 2002).

Kondenzat treba ispuštati sa više mesta u sistemu, a ne samo nakon kompresije, odnosno naknadnog hladnjaka. Preporuke su da se odvajači kondenzata obavezno postavljaju sa donje strane rezervoara vazduha pod pritiskom, na najnižima tačkama sistema, nakon filtera i sušača, kao i drugih komponenti.

Kada se kondenzat izdvoji iz sistema vazduha pod pritiskom postavlja se pitanje kako dalje sa njim postupati, budući da sadrži velike količine ulja koje su opasne po životnu sredinu. Izdvojenim kondenzatom treba upravljati na takav način da ne ugrožava životnu sredinu i da je postupak u skladu sa lokalnim propisima. U današnje vreme ne treba dopustiti da se kondenzat iz sistema vazduha pod pritiskom ispusti u lokalnu kanalizacionu mrežu ili neki prirodan vodotok, bez prethodnog eliminisanja štetnih supstanci.

2.2 Kvalitet vazduha pod pritiskom

Ukoliko se vazduh ne tretira nakon kompresije, može negativno uticati na korisnike i dovesti do smanjenja bezbednosti i ekonomske isplativosti proizvodnje. Nakon kompresije, vazduh sadrži sve nečistoće, koje su u njemu bile i pre kompresije, samo je njihova koncentracija veća, kao što je slikovito i predstavljeno na slici 2. Povećavanjem pritiska vazduha na 7 bar, koncentracija zagađivača u vazduhu se povećava i do 800% (Ingersoll, 2004).



Slika 2. Koncentracija zagađivača u vazduhu a) pre i b) posle kompresije

Da bi se vazduh pod pritiskom dalje koristio u sistemu, potrebno je obezbediti određeni kvalitet. Pored naknadnih hladnjaka, za regulisanje kvaliteta vazduha pod pritiskom, koriste se filteri i sušači. Kako bi se zagađivači mogli efikasno odstraniti iz vazduha, neophodno je najpre dobro ih upoznati, kao i izvore iz kojih oni dolaze.

2.2.1 Izvori zagađenja i zagađivači vazduha pod pritiskom

Identifikovanje izvora zagađenja i vrsta zagađivača je ključni korak u definisanju efikasnog sistema vazduha pod pritiskom.

Ukoliko se posmatra sistem vazduha pod pritiskom, mogu se uočiti tri izvora zagađenja:

- *Nečistoće iz atmosferskog vazduha.* Kompresor preko svog usisa uvlači nečistoće u sistem. Kao zagađivači ovde se najčešće nalaze vodena i uljna para, atmosferska prašina i mikroorganizmi. Proces hlađenja, koji sledi nakon kompresije dovodi do kondenzovanja vodene pare u vazduhu pod pritiskom, koja je najčešće poreklom iz atmosfere.
- *Kompresor.* Ulje iz kompresora koje služi za hlađenje ili podmazivanje.
- *Zagađenje poreklom iz distributivnog sistema i rezervoara vazduha pod pritiskom.* Tu se često sreću čestice uslovljene korozijom, naročito kod starijih distributivnih sistema (Parker Hannifin, 2009).

Zagađujuće materije u vazduhu pod pritiskom se mogu sresti u čvrstom, tečnom i gasovitom agregatnom stanju. Takođe, među njima se dešavaju procesi kao i u svim drugim okruženjima, tako, na primer, čvrste čestice aglomeriraju u veće, u prisustvu ulja

ili vode. Većina zagađivača dospeva u sistem vazduha pod pritiskom uvlačenjem iz atmosfere, prilikom usisavanja vazduha od strane kompresora. Na usisnoj cevi kompresora nalazi se filter koji sprečava prolazak krupnih čestica. Međutim, budući da je većina čestica veličine par delova, pa do nekoliko stotina mikrometara, što se može i videti u tabeli 1 (Šešlija, 2002), veliki broj čestica iz atmosfere dospe u kompresor.

Zagađivači u čvrstom stanju mogu biti različitih veličina, od zrnastih pa do submikronskih. Takođe, čestice mogu biti inertne ili sa energijom usmerenom tako da teže grupisanju sa ostalim česticama. U zagađivače u čvrstom stanju spadaju i mikroorganizmi: bakterije, gljivice i virusi. Jedan metar kubni atmosferskog vazduha može da sadrži i do 100.000.000 mikroorganizama, koji su preko usisa uvučeni u kompresor i koji završe u sistemu vazduha pod pritiskom. Ukoliko se vazduh ne tretira, mikroorganizmi mogu vrlo brzo da se razmnože. Uz tačku rose manju od -26°C , stvara se okruženje nepovoljno za razmnožavanje i rast mikroorganizama (Moore, 2011).

Tabela 1. Veličine najčešćih zagađivača vazduha pod pritiskom

Vrsta čestice	Veličina čestice [μm]
Prljavština i čestice polena	0,01 - 20
Mikroorganizmi	<0,01 - 2
Voda	0,05 - 10
Ulje iz kompresora	0,01 - 10
Ugljena prašina	1 - 100
Ljudska kosa	40 - 300
Nesagoreli hidrokarbonati	Gasovita faza

Najzastupljeniji zagađivač u tečnom stanju u vazduhu pod pritiskom je voda, a potom ulje iz kompresora. Čak do 99% zagađivača u tečnom stanju čini voda (Parker Hannifin, 2012). Veliki broj kompresora koristi ulje u toku svog rada, pa tako ulje u tečnoj formi ili formi uljne pare ili magle dospeva u vazduh pod pritiskom. Tečni zagađivači, a naročito voda, su izuzetno štetni po sistem vazduha pod pritiskom, pošto izazivaju koroziju.

Zagađivači u gasnom stanju koji su prisutni u sistemima vazduha pod pritiskom su najčešće ugljen monoksid, ugljen dioksid, sumpor dioksid, azot oksid, azot dioksid i ugljovodonici (ISO, 2001). Ove supstance najčešće dospevaju u sistem vazduha pod pritiskom usisavanjem iz atmosfere. Gasovi se često rastvaraju u tečnim zagađivačima ili sami mogu preći u tečno stanje usled smanjenja temperature ili povećanja pritiska vazduha (ISO, 2010).

Ulje u vazduhu pod pritiskom meša se sa čvrstim česticama i vodom formirajući na taj način pastoznu smešu koja formira takozvani „kolač“ na površini filterskog uložka, kao što je i prikazano na slici 3 (Moon, 2012), onemogućavajući time filteru da vrši svoju funkciju.



Slika 3. Nataložena nečistoća na površini filterskog uložka

Vazduh pod pritiskom sa prisutnim zagađivačima izaziva niz negativnih efekata u samom sistemu:

- prevremeno habanje površina,
- rđa i korozija u pneumatskim cevima i komponentama,
- oštećenje instrumenata i opreme,
- smanjenje pouzdanosti sistema,
- povećanje troškova održavanja,
- stvaranje nebezbednog okruženja za rad, kao i smanjenje produktivnosti i kvaliteta sistema, itd.

Kako bi stručnjaci iz oblasti kvaliteta vazduha pod pritiskom lakše komunicirali i kako bi se nedvosmisleno definisali zahtevi za kvalitetom vazduha pod pritiskom u određenim aplikacijama i dokazivao određeni kvalitet vazduha pod pritiskom, izvršena je standardizacija ove oblasti od strane ISO.

2.2.2 Standardizacija kvaliteta vazduha pod pritiskom

Svetska organizacija za standarde (*ISO - International Organization for Standardization*) je u poslednjih dvadeset godina, objavila tri verzije standarda koji definiše klase kvaliteta vazduha pod pritiskom. Tako je 1991. godine objavljena prva verzija standarda ISO 8573:1991. Deset godine kasnije objavljena je nova verzija standarda u kojoj je došlo do značajnih promena u smislu pooštrenja uslova koje određena klasa kvaliteta vazduha pod pritiskom treba da ispuni. Poslednja revizija standarda, ISO 8573.1 iz 2010. godine (tabela 2), donosi nove izmene u smislu smanjenja zahteva koje treba da zadovoljava vazduh pod pritiskom.

Standardom ISO 8573.1 se jednoznačno opisuje stepen čistoće vazduha pod pritiskom u odnosu na tri vrste zagađivača, (ISO, 2010):

- *čvrste čestice*, gde se definiše maksimalan dozvoljeni broj čestica po kubnom metru vazduha pod pritiskom, i to za tri različite grupe čestica prema njihovoj veličini,
- *vodu*, podrazumeva maksimalnu dozvoljenu količinu vlage u vazduhu pod pritiskom, i

- *ulje*, podrazumeva maksimalnu dozvoljenu količinu ulja i uljnih para u vazduhu pod pritiskom.

Klasa kvaliteta vazduha pod pritiskom definiše se sa tri broja, na primer 2.4.3. Pri tome, prvi broj označava dozvoljeni nivo čvrstih čestica (≤ 400.000 čestica veličine do $0,5 \mu\text{m}$, ≤ 6.000 čestica veličine do $1 \mu\text{m}$ i ≤ 100 čestica veličine do $5 \mu\text{m}$), drugi broj označava dozvoljeni nivo vode, odnosno tačku rose vazduha pod pritiskom, $+3^\circ\text{C}$, i treći broj označava dozvoljeni nivo ulja, $\leq 1 \text{ mg/m}^3$.

Tabela 2. Standard za kvalitet vazduha pod pritiskom ISO 8573.1:2010

Klasa	Čvrste čestice dozvoljeni broj čestica po m^3			Voda tačka rose [$^\circ\text{C}$]	Ulje i uljne pare [mg/m^3]
	0,1 – 0,5 μm	0,5 – 1 μm	1 – 5 μm		
0	Određeno od strane korisnika/distributera opreme, a strože od klase 1				
1	≤ 20.000	≤ 400	≤ 10	≤ -70	$\leq 0,01$
2	≤ 400.000	≤ 6.000	≤ 100	≤ -40	$\leq 0,1$
3	-	≤ 90.000	≤ 1.000	≤ -20	≤ 1
4	-	-	≤ 10.000	$\leq +3$	≤ 5
5	-	-	≤ 100.000	$\leq +7$	>5
6				$\leq +10$	-
7				$C_w \leq 0,5$	-
8				$0,5 < C_w \leq 5$	-
9				$5 < C_w \leq 10$	-

c_p - masena koncentracija čvrstih čestica [mg/m^3]

C_w - maksimalna koncentracija vode [g/m^3]

Da je optimalan kvalitet vazduha pod pritiskom za određeni proces veoma teško definisati, može se zaključiti na osnovu spomenutog standarda, koji se u poslednjih dvadeset godina drastično menjao čak tri puta. U zavisnosti od vrste industrije u kojoj se koristi i samih aplikacija u sistemima, postavljaju se određeni zahtevi po pitanju broja, veličine i vrste čestica u vazduhu pod pritiskom. Tako, nisu isti zahtevi kod klasičnih automatizovanih aplikacija u industrijama opšte namene, i sa druge strane u elektronskoj, farmaceutskoj ili prehrambenoj industriji, što se može i videti u tabeli 3 (Festo, 2007a; Moon, 2012). Proizvođači opreme za pripremu vazduha pod pritiskom, kao i mnogi stručnjaci, daju preporuke za kombinovanje različitih tipova filtera i sušača u zavisnosti od zahtevane klase kvaliteta vazduha pod pritiskom prema ISO 8573.1:2010 (Festo, 2012a; Kaeser, 2012; Kent, 2012).

Obezbeđenje potrebne klase kvaliteta vazduha pod pritiskom postiže se upotrebom sušača i filtera. Ako se posmatraju tri komponente koje definišu kvalitet vazduha pod

pritiskom, sušačima se eliminiše jedna od njih, odnosno vlaga u vazduhu. Preostale dve komponente, čvrste čestice i ulje, se iz vazduha pod pritiskom uklanjaju filtracijom.

Najčešći problem koji se javlja sa opremom koja služi za eliminisanje nečistoća iz vazduha pod pritiskom jeste da se ona nakon instalacije često zaboravi, tačnije, izostaje pravilno održavanje takve opreme i kao rezultat, dolazi do povećane potrošne energije.

Tabela 3. Preporučene klase kvaliteta vazduha pod pritiskom za različite aplikacije (Festo, 2012a)

Oblast primene	Klasa vazduha pod pritiskom
rudarstvo	5.5.5
obrada stakla i kamena	5.4.5
proizvodnja obuće	5.4.5
sistemi za zavarivanje	5.4.5
standardna pneumatika	5.4.5
standardna pneumatika + bio ulje	3.4.5
mašine za pakovanje	5.4.3
alati	5.4.5
razvijanje filma	1.2.1
proizvodnja senzora	2.2.2
instrumentalni vazduh	2.3.3
sistemi za farbanje	2.4.2
prehrambena industrija	2.4.1
vazdušni ležaj	2.3.3
precizni regulator pritiska	2.3.3
procesna tehnika	2.2.3
prevoz granulastih materija	3.4.3
prevoz praškastih materija	2.3.2

Čvrste čestice

Atmosferski vazduh u industrijskom okruženju sadrži oko 140.000.000 čvrstih čestica u kubnom metru vazduha (Domnick Hunter, 2007). U tabeli 1 navedene su veličine nekih čvrstih čestica koje se mogu naći u vazduhu pod pritiskom. Takođe, od čvrstih čestica se mogu naći opiljci cevi i rđa, nastali u samom sistemu vazduha pod pritiskom.

Osnovni cilj kojim treba težiti jeste sprečavanje većine čvrstih čestica da uopšte i dospeju u sistem vazduha pod pritiskom. Na taj način će biti zaštićen i kompresor, čime će se smanjiti i učestalost njegovog održavanja.

Vlažnost vazduha

Suv vazduh praktično ne postoji u normalnim uslovima okoline. U njemu se uvek nalazi određena količina vode u nekom agregatnom stanju (vlaga, magla, para, tečni kondenzat,

led, inje). Budući da se takav vazduh kompresuje i u sistemima vazduha pod pritiskom se nalazi određena količina vlage. Vлага je, u stvari, najveći neprijatelj sistema vazduha pod pritiskom.

Količina vlage u vazduhu pod pritiskom definiše se preko tačke rose, koja je sa stanovišta kvaliteta vazduha pod pritiskom i jedina veličina koju je potrebno odrediti. Tačka rose pod pritiskom (*PDP - Pressure dew point*) je temperatura pri kojoj vazduh pod pritiskom dostiže stepen zasićenja vlagom od 100% i počinje da se izdvaja u formi kondenzata, pri datom pritisku.

Prve tri klase vazduha pod pritiskom po pitanju vode, odnosno tačke rose vazduha pod pritiskom, postižu se primenom adsorpcionih sušača, a ostale klase, frižiderskim sušačima.

Ulje

Ulje u sisteme vazduha pod pritiskom dospeva najpre iz atmosfere. Atmosferski vazduh sadrži uljne pare u obliku nesagorelih ugljovodonika. Tipična koncentracija uljnih para u atmosferskom vazduhu varira između 0,05 i 0,5 mg/m³. Nakon kompresije i hlađenja, ovakvo ulje može da se kondenzuje i u tečnoj formi negativno da deluje na sistem vazduha pod pritiskom.

Mnogi kompresori upotrebljavaju ulje u fazi kompresije za zaptivanje, podmazivanje i hlađenje. U toku rada, ulje za podmazivanje se prenosi u sistem vazduha pod pritiskom, u tečnom stanju i kao aerosoli. Čak i takozvani bezuljni kompresori (*oil-free*) ne obezbeđuju vazduh pod pritiskom apsolutno oslobođen od ulja, jer se čestice ulja mogu usisavati iz atmosfere zajedno sa vazduhom. Ulje se meša sa vodenom parom u vazduhu, čime se stvara veoma kisela sredina koja uzrokuje oštećenja sistema za proizvodnju, pripremu i distribuciju vazduha pod pritiskom, zatim oštećenje opreme, kao i finalnog proizvoda.

Što se tiče eliminacije ulja iz vazduha pod pritiskom, uljni aerosoli se eliminišu koalescentnim filterima, dok se uljne pare uklanjaju primenom adsorpcionih filtera (Domnick Hunter, 2005).

2.2.3 Definisane potrebnog kvaliteta vazduha pod pritiskom

Prema istraživanju koje je rađeno u Republici Srbiji (Šešlija, Ignjatović, Dudić, et al., 2011) može se zaključiti da industrijski subjekti u Srbiji u velikoj meri imaju problema sa povišenim vrednostima parametara koji određuju kvalitet vazduha pod pritiskom.

Veliki broj kompanija, njih 82%, navode povećano prisustvo vode u svojim sistemima vazduha pod pritiskom, dok se njih 35% suočava sa povišenim sadržajem ulja ili uljne magle. U poređenju sa podacima iz studije koja je rađena u SAD (USDOE, 2001), skoro tri puta više preduzeća u Srbiji ima taj problem. Objašnjenje za visoke sadržaje vode i ulja u sistemima vazduha pod pritiskom u Srbiji, može biti objašnjeno činjenicom da je većina kompresora koja se koristi klipnog tipa, bez ugrađenih sušača.

Situacija u zapadnoevropskim zemljama (Radgen and Blaustein, 2001) je potpuno obrnuta nego što je to slučaj u Srbiji. Frižiderski sušači su standardna oprema u sistemima

vazduha pod pritiskom, a problem vlage se rešava pravilnim dimenzionisanjem sušača i njihovim ispravnim radom. Inženjeri u industrijskim subjektima u Srbiji imaju druge probleme i prioritete vezane za proizvodnju, i samim tim, nemaju vremena da obrate dovoljno pažnje na sisteme vazduha pod pritiskom.

Prilikom definisanja potrebnog kvaliteta vazduha pod pritiskom, prvo treba definisati klasu kvaliteta vazduha pod pritiskom koja je prisutna u sistemu nakon kompresije, a potom treba definisati da li svi potrošači u sistemu zahtevaju istu klasu vazduha pod pritiskom.

2.2.4 Merenje kvaliteta vazduha pod pritiskom

Standard ISO 8573 propisuje mesta u sistemima vazduha pod pritiskom na kojima se najčešće vrši uzorkovanje vazduha pod pritiskom i merenje kvaliteta. Prva lokacija je na samom početku sistema vazduha pod pritiskom, odnosno, nakon separatora za vodu i ulje. Druga tipična lokacija na kojoj se vrši merenje kvaliteta vazduha pod pritiskom podrazumeva lokaciju nakon naknadnog hladnjaka. Potom se kvalitet vazduha može meriti nakon filtracije i sušenja. Na kraju, kvalitet vazduha se može meriti na samom mestu upotrebe, odnosno, nakon pripreme grupe, koja obezbeđuje vazduh u skladu sa postavljenim zahtevima aplikacije (ISO, 2001).

Prilikom merenja kvaliteta vazduha pod pritiskom potrebno je ispuniti sledeće uslove:

- merenje kvaliteta vazduha treba biti zasnovano na određenom broju uzoraka koji se uzimaju u određenom vremenskom periodu,
- merenje kvaliteta vazduha pod pritiskom se vrši pri stvarnoj operativnoj temperaturi i pritisku vazduha,
- klasa kvaliteta vazduha pod pritiskom određuje se na osnovu srednjih vrednosti merenja,
- utvrđena klasa kvaliteta vazduha pod pritiskom važi samo za lokaciju na kojoj je vršeno merenje, ne može se uopštiti na ceo sistem vazduha (ISO, 2001).

Sadržaj čvrstih čestica, vlage i ulja u vazduhu pod pritiskom zavisi od promena u protoku vazduha pod pritiskom, pritisku, temperaturi, kao i ambijentalnim uslovima. Iz tih razloga, neophodno je obezbediti konstantne operativne uslove i vršiti redovno uzorkovanje vazduha iz sistema.

2.3 Filteri vazduha pod pritiskom

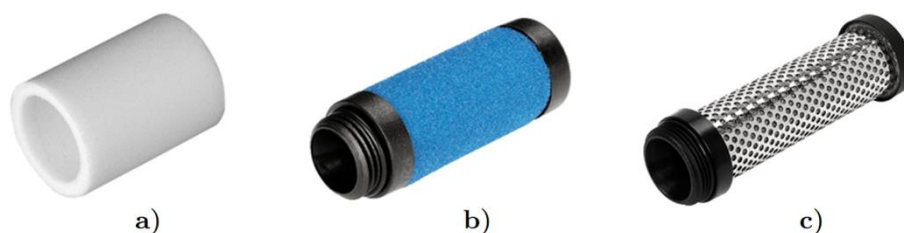
Filtracija predstavlja proces izdvajanja određenih čestica iz vazduha pod pritiskom uz pomoć nekog medijuma. Filtracija može biti fizička, gde se odvajanje neželjenih čestica vrši primenom različitih fizičkih efekata (mehanički, električni, magnetni) i hemijska, gde se uklanjanje nečistoća postiže primenom određenih hemijskih supstanci. Izbor metode za proces filtracije zavisi od željenog stepena filtracije, odnosno veličine čestica koje treba eliminisati iz vazduha pod pritiskom, brzine strujanja vazduha, njegove temperature i elektrostatičkog naelektrisanja čestica. U skladu sa tim, filter treba da obezbedi veliku

poroznost, nepromenljivost dimenzija pora, odnosno da ima stabilnu geometriju, i strukturnu stabilnost, odnosno nerazrušivost filterskog materijala (Dudić, et al., 2008).

Filter vazduha pod pritiskom ima zadatak da vazduh koji prođe kroz njega oslobodi od čestica i tečnih aerosola, para, mirisa i mikroorganizama. Određena vrsta filtera ima sposobnost da odstrani i kondenzovanu vodu, pa se tako razlikuju hidrofilni i hidrofobni filteri.

Prema vrsti nečistoća čije izdvajanje vrše, razlikuju se sledeće vrste filtera:

- *obični ili čestični filteri*, filtracija se zasniva na prolasku vazduha pod pritiskom kroz filterski uložak, koji se izrađuje najčešće od sinterovane bronzne ili porozne plastike (slika 4a), i zadržavanju čvrstih čestica u ulošku. Vazduh kod ovakvih filtera ulazi sa spoljašnje strane filterskog uložka. Većina ovih filtera ima sposobnost odstranjivanja i kondenzovane vode.
- *koalescentni filteri*, uklanjaju čvrste čestice i tečne aerosole. U ovim filterima dolazi do ukрупnjavanja tečnih čestica aerosola i njihovog odstranjivanja pomoću gravitacije. Za razliku od običnih filtera, ovde vazduh ulazi sa unutrašnje strane filterskog uložka (slika 4b).
- *apsorpcioni filteri*, uklanjaju pare i mirise iz vazduha pod pritiskom. Filterski medijum je izrađen od granula aktivnog uglja (slika 4c). Ovakva vrsta filtera se primenjuje u postupcima prerade hrane i lekova ili pripremi vazduha za disanje.



Slika 4. Vrste filterskih uložaka, a) filterski uložak čestičnog filtera, najčešći stepeni filtracije 40 i 5 µm, b) filterski uložak koalescentnog filtera, najčešći stepen filtracije 1 µm, c) filterski uložak sa aktivnim ugljem

2.3.1 Pad pritiska na filterima

Na filterima vazduha pod pritiskom neminovno se javlja određeni pad pritiska, kako zbog same konstrukcije filtera, tako i zaprljanja filterskog uložka kroz koji prolazi vazduh pod pritiskom. Efikasnost i pad pritiska, odnosno vek trajanja filterskog uložka, predstavljaju dva ključna kriterijuma za izbor odgovarajućeg filtera. Međutim, ova dva parametra su međusobno suprotstavljena. Što je efikasnost filtera veća, veći je i otpor koji se javlja pri protoku vazduha. Manja efikasnost filtera obezbeđuje manji pad pritiska, ali se više zagađujućih čestica propušta u sistem. Zbog toga je neophodno za svaku aplikaciju odabrati optimalnu vrstu filtera koja obezbeđuje ravnotežu između ova dva kriterijuma. Kao što je već rečeno, pravilno projektovan i postavljen sistem vazduha pod pritiskom ne bi trebalo da ima pad pritiska veći od 10%, meren na izlasku iz kompresora ili rezervoara i mesta upotrebe vazduha pod pritiskom (Barber, 1997).

Dobro dimenzionisanje filtera je preduslov za energetski efikasno funkcionisanje pneumatskog sistema. Ukoliko se u sistem postave filteri boljih performansi od zahtevanih, ceo njihov kapacitet neće biti potpuno iskorišćen. Ukoliko se postave filteri nedovoljnih performansi, za veoma kratko vreme će doći do zaprljanja filterskog uložka. Ukoliko se zaprljani filterski uložak ne zameni na vreme, pored znatno povećanog pada pritiska može doći i do destrukcije filterskog uložka i prodiranja sakupljenih kontaminanata u pneumatski sistem.

Najčešća dilema koja se javlja u vezi filtera vazduha pod pritiskom je: Koliki je životni vek filterskog elementa i kada ga treba zameniti? U literaturi se najčešće mogu sresti preporuke da filterske uloške treba menjati u skladu sa specifikacijama proizvođača (Elliott, 2006). Kod običnih i koalescentnih filtera, životni vek filterskog elementa se određuje na osnovu pada pritiska. Budući da je pad pritiska u direktnoj proporciji sa zaprljanjem filterskog elementa, najsigurniji način za određivanje stepena zaprljanja je detaljno merenje pada pritiska. Životni vek apsorpcionih filtera prati se na osnovu zasićenja apsorpcionog materijala. Dotrajalost apsorpcionog filtera se uočava jedino prisustvom kontaminanata u vazduhu pod pritiskom i nakon filtera. U tom slučaju vrši se zamena filterskog elementa (Ignjatović et al., 2009).

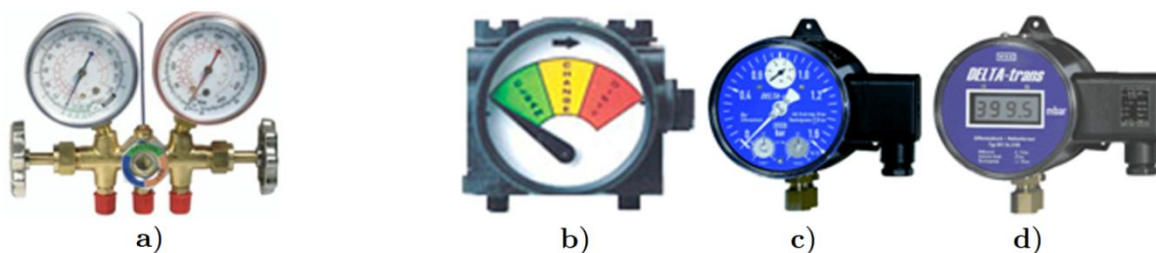
Iz navedenih razloga, neophodno je vršiti nadgledanje pada pritiska na filterima. Pad pritiska se može meriti na dva načina:

1. pre i posle komponente na kojoj se javlja pad pritiska, pomoću dva nezavisna manometra,
2. pomoću jedinstvenog uređaja - diferencijalnog manometra.

U prvom slučaju, jedan manometar se povezuje na vod vazduha pod pritiskom pre komponente na kojoj se javlja pad pritiska kako bi se očitala vrednost pritiska pre ulaza u određeni element - merač ulaznog pritiska, dok se drugi manometar postavlja na vod vazduha pod pritiskom nakon komponente na kojoj se javlja pad pritiska - merač izlaznog pritiska, kao što je prikazano na slici 5a. Pad pritiska predstavlja razliku dva merena pritiska.

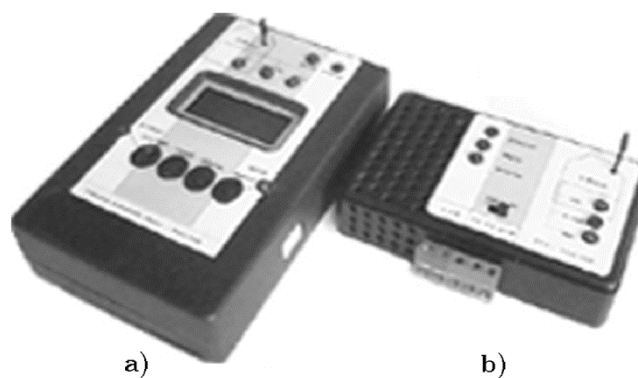
Diferencijalni merač pritiska je uređaj specijalno namenjen za praćenje pada pritiska na pojedinim komponentama. Postoje diferencijalni manometri sa apsolutnim (Wright, 2008) i relativnim pokazivačem pada pritiska (WIKI, 2008). Neki od njih su prikazani na slikama 5b, c i d.

Uređaji predstavljeni na slici 5 zahtevaju obezbeđenje vizuelne dostupnosti kako bi se vršilo očitavanje pada pritiska i utvrdio stepen zaprljanosti filtera. Kako su sistemi vazduha pod pritiskom razvedeni po proizvodnim pogonima, tako se može desiti da uređaji za utvrđivanje pada pritiska nisu lako vidljivi i dostupni za očitavanje. Kako bi se obezbedila nezavisnost od vizuelne dostupnosti, razvijen je bežični sistem za nadzor stanja filtera (Ignjatović et al., 2012).



Slika 5. Uređaji za merenje pada pritiska a) dva manometra, b) relativni pokazivač pada pritiska, c) apsolutni pokazivač pada pritiska - analogni, d) apsolutni pokazivač pada pritiska - digitalni

Primeri korišćenja sistema bežičnog nadzora raznih parametara su brojni. Na primer, merenja meteoroloških podataka (temperatura vazduha, relativna vlažnost, pritisak, brzina vetra, itd) (Benghanem, 2009), praćenje filtera u sistemima za veštačko disanje (Favas, 2005), praćenje filtera u klimatizacionim sistemima (Kintner-Meyer and Brambley, 2005), i mnogi drugi. Ovi uređaji najčešće komuniciraju koristeći standard IEEE 802.11b, odnosno bežičnu računarsku mrežu (WLAN) koja postoji ili čije se uspostavljanje planira u pogonu. Kako bi se izbeglo uslovljavanje rada uređaja postojanjem bežične lokalne mreže, realizovan je sistem (slika 6) uz korišćenje komunikacijskih modula, zasnovanih na ZigBee tehnologiji, koja počiva na standardu IEEE 802.15.4. Odnosno, korišćeni su XBee-PRO 802.15.4 radio moduli, koji međusobno formiraju bežičnu personalnu mrežu (WPAN).



Slika 6. Bežični sistem za nadzor stanja filterskih uložaka u pneumatskim sistemima - verzija 1, a) bazna i b) senzorska jedinica

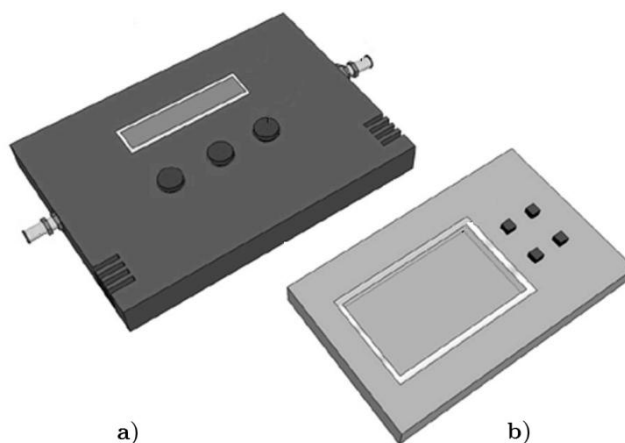
Bežični sistem nadzora stanja filterskih uložaka u pneumatskim sistemima može se primeniti u bilo kojoj grani industrije i bilo kom proizvodnom objektu u kojem se koristi vazduh pod pritiskom, jer se u okviru svakog sistema vazduha pod pritiskom nalaze i filteri za vazduh na koje se jednostavno mogu dodati diferencijalni manometri, a samim tim i ceo ovaj pronalazak.

Bežični sistem nadzora stanja filterskih uložaka u pneumatskim sistemima sastoji se od:

- *bazne jedinice* (slika 6a), koja predstavlja mali prenosivi uređaj projektovan tako da može da se drži u ruci i da lice zaduženo za nadzor stanja zaprljanosti filterskog uložaka može sa određene udaljenosti, bežičnim putem, da prikupi informacije sa svih senzorskih jedinica,
- *senzorskih jedinica* (slika 6b), gde je svaka senzorska jedinica povezana sa jednim diferencijalnim manometrom postavljenim na filteru i očitava promene koje se javljaju na njegovim digitalnim izlazima.

Bežična komunikacija se obavlja pomoću XBee-PRO 802.15.4 radio modula.

Prvobitna verzija bežičnog sistema za nadzor stanja filterskih uložaka u pneumatskim sistemima redizajnirana je (Šešlija, Ignjatović, Tarjan, et al., 2011) u smislu određivanja pada pritiska na filterima za vazduh pod pritiskom, na takav način da su postavljena dva nezavisna manometra, koji zajedno sačinjavaju senzorsku jedinicu. Jedan manometar postavljen je na ulaz filtera i očitava pritisak vazduha koji tu dolazi, dok je drugi manometar postavljen na izlaznom vodu filtera i očitava pritisak vazduha nakon prolaska kroz filter. Prikaz ovog uređaja dat je na slici 7.



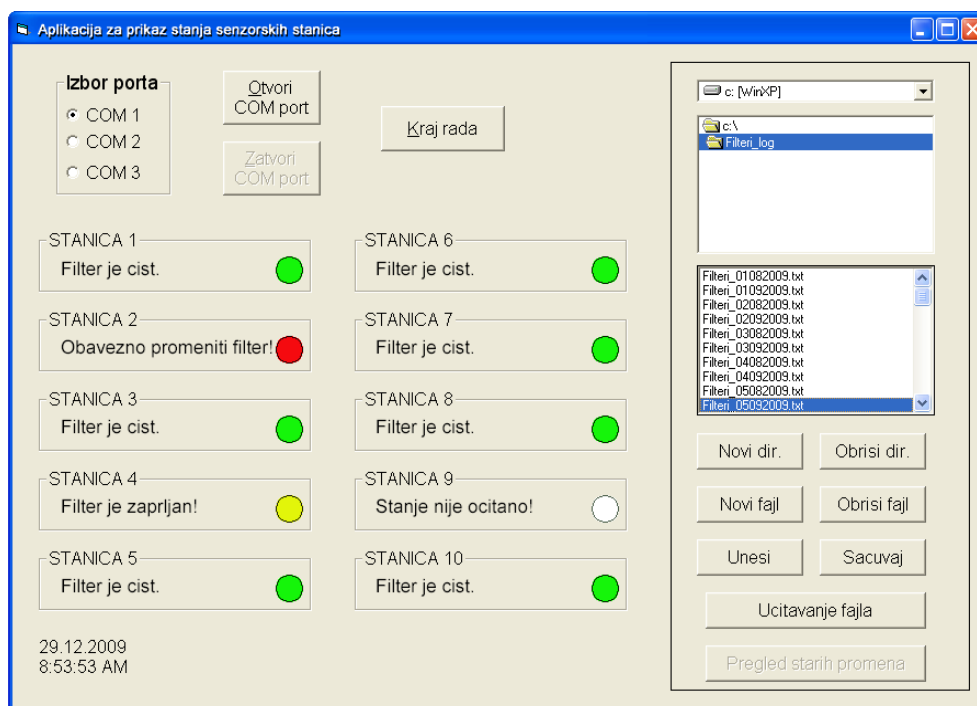
Slika 7. Bežični sistem za nadzor stanja filterskih uložaka u pneumatskim sistemima - verzija 2,
a) senzorska i b) bazna jedinica

Za obe verzije sistema za nadzor stanja filtera, razvijena je i Visual Basic aplikacija za prikazivanje i čuvanje očitanih stanja filterskih uložaka sa senzorskih jedinica na računaru, koja je predstavljena na slici 8. Očitana stanja filterskih uložaka se nalaze u memoriji bazne jedinice pa je potrebno povezati ovu jedinicu sa računalom.

Po prijemu podataka od bazne jedinice, na računaru se automatski prikazuju očitana stanja sa svih senzorskih jedinica. Za svaku stanicu, koja je u dometu, program prikazuje jedno od tri moguća stanja:

- “Filter je čist.” (zeleno),
- “Filter je zaprljan!” (žuto),
- “Obavezno promeniti filter!” (crveno).

Prilikom prijema podataka, ako stanje neke stanice nije očitano, program će za tu stanicu ispisati poruku: “Stanje nije očitano!”.



Slika 8. Izgled Visual Basic aplikacije na računaru

2.4 Sušaći vazduha pod pritiskom

Kako bi se voda eliminisala iz sistema, ugrađuju se sušaći vazduha pod pritiskom. U skladu sa tim koliko suv vazduh treba biti u sistemu, bira se odgovarajući tip sušača, kao što je predstavljeno u tabeli 4 (Šešlija, 2008).

Najvažniji kriterijum pri izboru sušača je tačka rose pod pritiskom koju on treba da ostvari. Sledeća bitna karakteristika je protok vazduha kroz sušač, koji zavisi od: radnog pritiska, temperature ulaznog vazduha, temperature vode ili vazduha za hlađenje i zahtevane tačke rose.

Sušaći se dele na sledeće tipove:

- *apsorpcioni (deliquescent dryer)*, sadrže hemijske supstance, odnosno sredstva za sušenje, za koje se vezuje vlaga pri prolasku vazduha kroz sredstvo za sušenje. Sredstvo za sušenje se troši vremenom i mora se dopunjavati. Ova vrsta sušača može da osuši vazduh na taj način da se tačka rose snižava za 6-14°C.
- *regenerativni adsorpcioni (desiccant dryer)*, vazduh pod pritiskom se vodi kroz adsorber, u kojem se nalazi zrnasti materijal oštih ivica ili u obliku perli (najčešće aluminijumski ili silicijumski gel), na čijoj površini se vrši izdvajanje vode. Sposobnost upijanja vlage je ograničena, tako da se povremeno mora vršiti regeneracija adsorbera, na način da se kroz adsorber produvava topao vazduh koji sa sobom odnosi vlagu iz sušača.

- *frižiderski (refrigerated dryer)*, sušenje se odvija tako da se vazduh ohladi ispod temperature orošavanja nekim od sredstava za hlađenje.
- *membranski (membrane dryer)*, služe za separaciju gasova. Važno je napomenuti da ovi sušači odstranjuju i druge gasove. Neki tipovi ovih sušača mogu da smanje nivo kiseonika u izlaznom vazduhu ili ga uopšte neće propustiti, tako da treba konsultovati proizvođača ove opreme ako se planira primena u sistemima sa vazduhom za disanje (Šešlija, 2008).

Tabela 4. Tačke rose koje se postižu odgovarajućim vrstama sušača

Tačka rose [°C]	Tip sušača
-14°C u odnosu na ulaz	absorpcioni
+2	frižiderski
-20	membranski
-40 — -70	regenerativni adsorpcioni

2.5 Energetska efikasnost sistema vazduha pod pritiskom

U sistemima vazduha pod pritiskom, kao i u ostalim sistemima, važi I zakon termodinamike: “Energija se ne može stvoriti ni iz čega niti se može uništiti, već se može samo preneti iz jednog oblika u drugi, ili s jednog tela na drugo.” Odnosno, ako su već upotrebljeni određeni resursi kako bi se generisala energija vazduha pod pritiskom, onda tu energiju treba efikasno i koristiti, i ne dozvoliti gubitke. Drugačije rečeno, energetska efikasnost opisuje kvalitet korišćenja energije.

Energetska efikasnost predstavlja skup organizovanih aktivnosti u okviru određenog sistema sa ciljem smanjenja potrošnje ulazne energije, emisije štetnih gasova i troškova energije u odnosu na nepromenjeni izlaz ili proizvod nekog procesa, uslugu ili energiju, ili u odnosu na stvaranje nove vrednosti unutar posmatranog sistema (Gvozdenac, 2010).

Energetski efikasan sistem vazduha pod pritiskom je rezultat dobrog projektovanja, upravljanja i održavanja. Glavni cilj je obezbeđenje minimalanog gubitka pritiska u distributivnom sistemu, optimalan kvalitet vazduha pod pritiskom i energetska efikasna upotreba vazduha pod pritiskom na mestima potrošnje. Sa druge strane, energetska neefikasan sistem dovodi do povećanja troškova po jedinici proizvedenog vazduha pod pritiskom, neodgovarajućeg ili neravnomernog rada pneumatskih izvršnih organa, skraćivanja radnog veka komponenti, smanjenja kapaciteta i formiranja naslaga rđe i mulja u glavnim i lateralnim vodovima, a samim tim i povećanja troškova održavanja i popravki. (Dudić, 2012).

Nakon proizvodnje i pripreme, vazduh pod pritiskom potrebno je distribuirati do svakog korisnika u sistemu. Kako se u toku proizvodnje i pripreme javljaju gubici pritiska, tako se i tokom distribucije javljaju gubici, najčešće zbog otpora strujanju u samim cevima

i crevima. Svi ovi gubici su direktni gubici energije, jer se energija koristi kako bi se dobio vazduh određenog pritiska, a nakon toga se deo tog pritiska izgubi.

Sistemi vazduha pod pritiskom predstavljaju oblast sa velikim mogućnostima za uštedu energije. Brojne studije iz oblasti optimizacije sistema vazduha pod pritiskom, kao i mišljenja stručnjaka iz oblasti (Radgen and Blaustein, 2001; Šešlija, Ignjatović, Dudić, et al., 2011; US DOE, 2001, 2003), ukazuju da mnoge kompanije ne koriste prilike za smanjenje potrošnje energije, iako su često potrebni relativno niski investicioni troškovi, a efekti povećanja energetske efikasnosti su veliki (Šešlija, Ignjatović, Dudić, et al., 2011). Ušteda energije u sistemima vazduha pod pritiskom u industrijskim malim i srednjim preduzećima iznosi skoro 15%, uz povraćaj investicije od dve godine. U nekim od njih potencijal za uštede iznosi od 30% pa do čak 60% (USDOE, 2001). Kako bi postigle smanjenje potrošnje energije, smanjenje troškova i negativnog uticaja na životnu sredinu, kompanije bi trebalo da preduzmu sledeće korake:

- uspostaviti politiku kompanije i utvrditi programe,
- uspostaviti dozvoljene granice tolerancije,
- utvrditi neusaglašenosti i mogućnosti zaštite raspoloživih resursa,
- racionalno trošenje energije primenom korektivnih i preventivnih mera,
- institucionalizovati nadzor nad sistemima vazduha pod pritiskom.

Kako bi smanjili potrošnju energije, kompanije bi trebalo da prođu kroz faze:

Faza 1. Trošenje - Nerazumevanje na koji način potrošnja energije i upravljanje zaštitom životne sredine utiče na operativnost, finansije ili uticaj na okolinu. U ovoj fazi, kompanije neracionalno troše oko 40% energije. Organizacije u ovoj fazi samo plaćaju račune i najčešće se žale na njihovu visinu, a takve troškove prelivaju na svoje potrošače.

Faza 2. Vrednovanje - Kompanije u ovoj fazi priznaju da potrošnja energije i efekat koji imaju na životnu sredinu može biti poboljšán, ali ne žele da obezbede sredstva za njihovo unapređenje.

Faza 3. Procena - Kompanije razumeju brz povratak investicije i niz ostalih pozitivnih efekata.

Faza 4. Optimizacija - Kompanije potpuno razumeju finansijske, operativne i društvene efekte koje promena upravljanja energijom može da ima.

Faza 5. Inovacija - Kompanije promovišu inovacije u oblasti energetske efikasnosti i društveno odgovornog ponašanja, i najčešće ostvaruju gubitke energije manje od 7,5%.

Kada dostignu zrelost faze tri, kompanije počinju da shvataju da postoje bolji načini u upravljanju potrošnjom energije i postaju spremne da preduzmu korake u pozitivnom smeru (INFOR, 2012).

Potencijalne uštede u oblasti sistema vazduha pod pritiskom u Srbiji iznose oko 36,8% od ukupne količine struje koja se potroši na proizvodnju, pripremu i distribuciju vazduha pod pritiskom ili oko 200 GWh električne energije godišnje (Šešlija, Ignjatović, Dudić, et al., 2011). Kvantitativne informacije o potrošnji energije su značajne iz aspekta finansijske analize, dok su kvalitativne informacije značajne zbog procene potrošnje svakog potrošača i njihove održivosti.

2.5.1 Curenje

Problem koji se u sistemima vazduha pod pritiskom povezuje sa značajnim uštedama koje se mogu postići je problem curenja. Procene mogućih ušteda kreću se od 30% (Radgen and Blaustein, 2001), pa čak i do 60% (USDOE, 2001) od ukupne energije koja se potroši za proizvodnju, pripremu i distribuciju vazduha pod pritiskom. Ukoliko se uzme u obzir da se oko 80% industrijskih subjekata susreće sa ovim problemom, može se zaključiti da su uštede u količini generisanog vazduha pod pritiskom, odnosno u količini upotrebljene električne energije za njegovo dobijanje, značajne.

Curenje vazduha pod pritiskom izaziva pad pritiska u sistemu, odnosno direktno dovodi do gubitka energije. Pored toga, javljaju se i ostali negativni efekti:

- smanjuje se efikasnost pneumatskih alata, što dalje utiče negativno na proizvodnju,
- određena oprema u sistemu može da bude češće u stanju u radu, čime joj se značajno skraćuje životni vek (npr. kompresor),
- može doći do povećanja vremena rada, koje može prouzrokovati dodatne zahteve za održavanje i povećanje neplaniranih zastoja, itd.

Mesta u sistemima vazduha pod pritiskom na kojima se najčešće javlja curenje i koja bi trebalo da budu predmet redovnih inspekcija su:

- odvajajući kondenzata,
- cevi, stare ili korodirane cevi,
- spojnice i prirubnice,
- razvodne cevi - kolektori,
- creva,
- pneumatske komponente,
- pneumatski cilindri,
- filteri,
- alati.

Iskustva pokazuju da su najslabije tačke u sistemima vazduha pod pritiskom iz aspekta curenja, distributivne mreže, tj. cevovodi. Prema istraživanju koje je rađeno na teritoriji Republike Srbije (Šešlija, Ignjatović, Dudić, et al., 2011), najstariji delovi sistema vazduha pod pritiskom su cevovodi. Samim tim, na cevovodima se javljaju najveći gubici, a tu je uključeno i najviše operacija održavanja. Međutim, održavanje na cevovodima se sprovodi samo u situacijama pojave otkaza, dok je retko plansko preventivno održavanje. Slična situacija uočena je i u drugim zemljama (USDOE, 2001).

Postoje određene preporuke koje mogu doprineti smanjenju curenja vazduha pod pritiskom:

- radni pritisak u sistemu treba postaviti na minimalni dovoljni za obavljanje operacija,
- za spajanje cevi treba koristiti komponente visokog kvaliteta, budući da su ovo posebno osetljiva mesta na curenje,
- izbegavati sastavljanje cevi navojnim spojevima, već koristiti zavarivanje kada god je to moguće,
- zapušiti delove cevovoda koji se ne koriste,

- odvojiti delove cevovoda postavljanjem slavina, kako bi se izbeglo napajanje delova vazduhom pod pritiskom kada to nije neophodno,
- postavljanje merača protoka na glavnim cevovodima, veliko povećanje protoka vazduha može biti indikator povećanog curenja ili rasipanje,
- izbegavanje instalacije podzemnih cevovoda jer ubrzana korozija pod zemljom može biti jedan od izvora curenja (Devki Energy Consultancy Pvt. Ltd., 2006).

2.5.2 Detekcija i kvantifikacija curenja

Kao što je već napomenuto, curenje vazduha pod pritiskom može izazvati velike gubitke. Iz tih razloga neophodno je vršiti stalnu inspekciju sistema vazduha pod pritiskom, kako bi mesta curenja na vreme bila otkrivena i otklonjena. Koliko se vazduha gubi, najbolje se vidi iz tabele 5 (USDOE, 2004), u kojoj su prikazana curenja vazduha pod pritiskom pri određenim veličinama otvora i radnog pritiska.

Najčešće se u industrijskim sistemima pribegava povećanju pritiska, kako bi se nadomestio vazduh koji iscure iz sistema, umesto da se pristupi detekciji i otklanjanju mesta curenja. Ovakvo stanje se često toleriše sve dok kompresor ne počne da radi sa maksimalnim kapacitetom. Na taj način gubi se od 30% do 60%, proizvedenog vazduha pod pritiskom, odnosno kompresori određeni deo svog kapaciteta troše na zadovoljavanje veštačkih potreba u sistemu. Ekstremna situacija obuhvata uvođenje dodatnog kompresora u sistem, kako bi se zadovoljile potrebe za vazduhom pod pritiskom, ne vodeći računa da se time povećava potrošnja električne energije, a javljaju se i ostali prateći troškovi. Povećanje pritiska od 1 bar u sistemu, dovodi do povećanja potrošnje električne energije za oko 7% (Scales and McCulloch, 2010).

Tabela 5. Curenje vazduha pod pritiskom u funkciji pritiska i veličine otvora

pritisak [bar]	Curenje vazduha pod pritiskom [Nl/min]					
	veličina otvora [mm]					
	0,4	0,8	1,6	3,2	6,4	9,6
4,8	8,21	32,85	131,96	527,56	2106,77	4751,57
5,5	9,06	35,68	148,38	587,86	2353,13	5300,91
6,2	10,19	41,34	161,97	654,12	2605,15	5850,26
6,9	11,33	43,89	168,78	714,15	2857,17	6427,92
8,6	13,59	54,93	216,91	867,91	3640,32	7801,29

Kako bi se curenja smanjila na prihvatljiv nivo od 5 do 10% ukupne potrošnje vazduha pod pritiskom, nije dovoljno izvršiti identifikaciju i popravku curenja jedanput, već je neophodno uspostaviti kontinualni program prevencije curenja u pogonu. Ovakav program bi trebao da obuhvati identifikaciju, evidentiranje, praćenje i popravku mesta curenja uz aktivno uključivanje zaposlenih. Ove aktivnosti treba naročito preduzimati nakon uvođenja komponenti za regulisanje kvaliteta vazduha pod pritiskom, filtera i sušača, u sistem (Ignjatović et al., 2011).

U današnjoj praksi upotrebljava se veliki broj metoda za otkrivanje mesta curenja vazduha pod pritiskom. Svaka od metoda ima svoje prednosti i nedostatke i primenjuje se u zavisnosti od karakteristika aplikacije (Zhang, 1996). U nekim slučajevima detekcije, dovoljna je samo jedna metoda da bi se otkrilo curenje vazduha. Na primer, u slučajevima velikih curenja, dovoljno je oslušnuti i detektovati curenje. Međutim, manja i veoma mala curenja se teže pronalaze, pa je neophodno kombinovati više metoda.

U metode detekcije curenja vazduha pod pritiskom spadaju:

- detekcija curenja pomoću sopstvenih čula,
- detekcija curenja ispuštanjem mehurića (Rozinov, 2006),
- ultrazvučna detekcija i
- infracrvena detekcija curenja.

Nadzor potrošnje vazduha pod pritiskom može se vršiti i merenjem protoka vazduha u stanju mirovanja određenog procesa ili upoređivanjem sličnih aplikacija (Dudić, Ignjatović, et al., 2008).

Metode detekcije curenja pomoću sopstvenih čula ili ispuštanjem mehurića su najjednostavnije i primenjuju se od davnina. Međutim, sve više su u upotrebi i savremenije i pouzdanije metode primenom ultrazvuka i infracrvenih zraka, koje osim za detekciju, mogu poslužiti i za kvantifikaciju curenja.

Ultrazvučnu metodu odlikuju određene prednosti kao što su brzina detekcije mesta curenja i jednostavnost upotrebe. Međutim, na ovu metodu negativno utiče buka iz okruženja koja je svakako prisutna u proizvodnim pogonima.

Infracrvena metoda ili termovizija se uspešno primenjuje kod ispitivanja sistema vazduha pod pritiskom. Infracrvenom kamerom moguće je snimiti temperaturne promene u instalaciji i time utvrditi mesta određenih kvarova ili curenja.

Pomenute metode, mogu se uspešno primenjivati i prilikom kvantifikacije curenja na fleksibilnim crevima vazduha pod pritiskom (Dudić et al., 2012a). Ultrazvučna metoda daje pouzdane rezultate za kvantifikaciju curenja koja proizvode zvuk jačine do 74 dB (veliĉine otvora curenja 1,3 mm), dok za curenja kroz veće otvore treba primeniti termoviziju. Nasuprot tome, prilikom kvantifikacije curenja na čeliĉnim cevima, ultrazvučna metoda ne daje rezultate, dok termovizija daje pouzdane rezultate (Dudić et al., 2012b).

Poglavlje 3

Istraživanje i diskusija

Savremena industrijska proizvodnja može da doprinese održivom razvoju tako što će se, u najvećoj meri, primeniti principi održivosti (prevencija zagađenja, kontrola zagađenja, minimizacija otpada, racionalna potrošnja energije, povećanje energetske efikasnosti, itd.) u svim segmentima proizvodnje.

Održivost proizvodnje se u ovoj disertaciji posmatra iz aspekta sistema vazduha pod pritiskom, kao važnom delu proizvodnih sistema. Sisteme vazduha pod pritiskom treba projektovati, realizovati i upravljati tako da zadovoljavaju zahteve korisnika uz poštovanje principa održive proizvodnje. To podrazumeva obezbeđenje vazduha odgovarajućeg pritiska i protoka, sa odgovarajućim kvalitetom, uz povećanje energetske efikasnosti u proizvodnji, pripremi i distribuciji vazduha pod pritiskom.

Kvalitet je važan parametar vazduha pod pritiskom budući da od njega zavisi ispravno funkcionisanje i životni vek pneumatske opreme. Za postizanje odgovarajućeg kvaliteta vazduha potrebno je u sistem vazduha pod pritiskom, pored sušača, ugraditi i komponente za filtraciju vazduha. Kako ove komponente izazivaju pad pritiska u sistemu, tako se za povišenje energetske efikasnosti funkcionisanja sistema postavljaju novi izazovi.

Ideja koja se nalazi u pozadini eksperimentalnog istraživanja ove disertacije zasniva se na postizanju odgovarajućeg kvaliteta vazduha, uz što manji pad pritiska, adekvatnom primenom različitog broja, različito postavljenih filtera.

Potrošači u sistemu vazduha pod pritiskom mogu imati različite zahteve po pitanju kvaliteta vazduha, pa se tako i filteri vazduha mogu postaviti na različite načine u sistem, kako bi najbolje odgovorili postavljenim zahtevima. Na primer, umesto jednog, mogu se koristiti dva ili tri paralelno vezana filtera vazduha pod pritiskom, ili eventualno filter značajno većeg kapaciteta od neophodnog, ukoliko je to moguće i ekonomski opravdati.

Da li će ukupan pad pritiska biti manji ukoliko se filter zameni sa dva ili tri ista tipa filtera paralelno postavljena, a istovremeno, da li će tako filtrirani vazduh biti odgovarajućeg kvaliteta, potrebno je eksperimentalno utvrditi. Naravno, instalacija dodatnih filtera iziskuje i dodatne troškove, koji nikako ne smeju biti zanemareni, tako da je nužno sprovesti i odgovarajuću analizu isplativosti.

3.1 Metodologija istraživanja

3.1.1 Faze istraživanja

Istraživanje u okviru ove disertacije je sprovedeno u četiri faze.

Faza I

Prva faza istraživanja predstavlja detaljnu analizu teoretskih podloga, odnosno upoznavanje sa predmetom istraživanja i aktuelnim stanjem u oblasti, putem naučne i stručne literature, što je i predstavljeno u prethodnom poglavlju.

Faza II

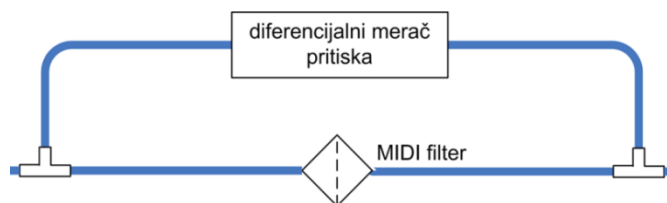
Druga faza istraživanja obuhvata eksperimentalno utvrđivanje pada pritiska na filterima vazduha pod pritiskom srednjeg protoka. Korišćeni filteri su proizvođača Festo koji imaju stepen filtracije 40, 5, 1 i 0,01 μm . Vrste, oznake i stepen filtracije korišćenih filtera su dati u tabeli 6.

Tabela 6. Vrste i stepen filtracije korišćenih filtera u fazama II i III istraživanja

Tip filtera	Oznaka filtera	Stepen filtracije [μm]
čestični	LF-D-MIDI	40 i 5
	LF-D-MINI	
koalescentni	LFMB-D-MIDI	1
	LFMB-D-MINI	
koalescentni	LFMA-D-MIDI	0,01
	LFMA-D-MINI	

Merenje je vršeno uz variranje dva parametra: protoka i pritiska. Iako je ovaj filter namenjen za protoke od 170 do 5.300 Nl/min , vršena je promena protoka u vrednostima od 150 do 600 Nl/min , odnosno 500 Nl/min u slučaju LFMB-D-MIDI filtera i 350 Nl/min u slučaju LFMA-D-MIDI filtera, jer su to maksimalne vrednosti protoka za pomenute filtere, u intervalima od 50 Nl/min , dok je vrednost pritiska varirana u vrednostima od 2 do 6 bara, u intervalima od 1 bar. Položaj testiranog filtera srednjeg protoka na pneumatskoj shemi dat je na slici 9.

Za svaku pomenutu kombinaciju pritiska, protoka i stepena filtracije merene su i izlazne vrednosti čvrstih čestica, vode i ulja.

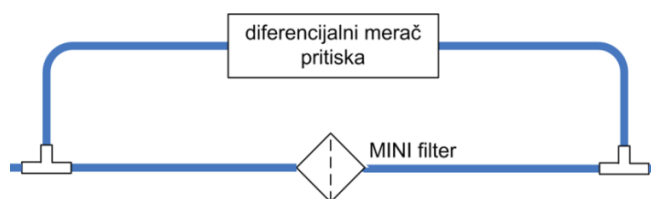


Slika 9. Položaj filtera srednjeg protoka u Fazi II istraživanja

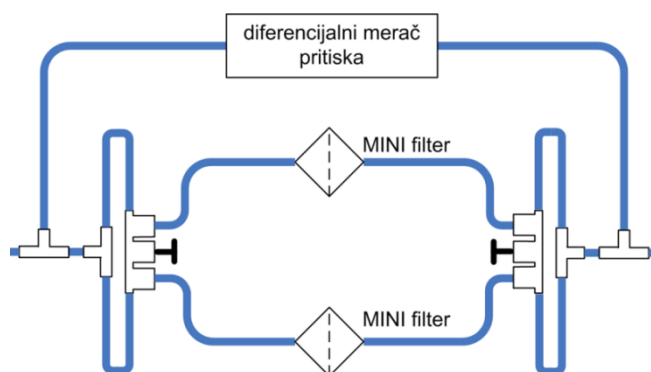
Faza III

Treća faza istraživanja podrazumeva merenje pada pritiska za iste vrednosti pritiska kao i u Fazi II, ali na filterima niskog protoka. Merenja su vršena na jednom filteru niskog protoka (slika 10), i dva (slika 11), odnosno tri (slika 12) paralelno vezana filtera niskog protoka. Korišćeni su takođe filteri proizvođača Festo, koji imaju stepen filtracije 40, 5, 1 i 0,01 μm , kao što je prikazano u tabeli 6. Budući da LFMB-D-MINI filteri imaju nominalni protok do 500 Nl/min , tako je utvrđivanje pada pritiska rađeno za vrednosti od 150 do 500 Nl/min u intervalima od 50. Za razliku od njih, filteri LFMA-D-MINI imaju maksimalan protok 360 Nl/min , te je gornja granica vrednosti protoka prilikom eksperimenta bila 350 Nl/min .

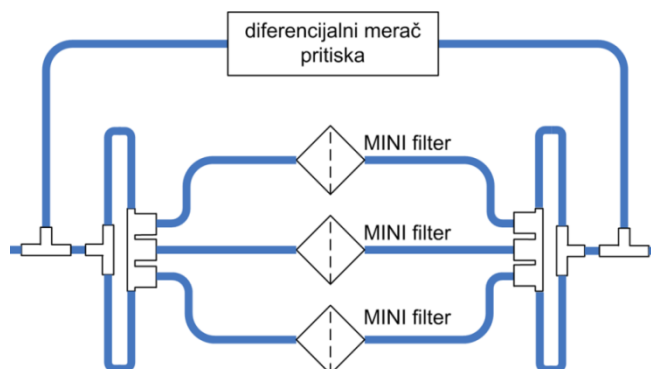
I u ovim slučajevima, izmerene su izlazne vrednosti čvrstih čestica, vode i ulja.



Slika 10. Položaj filtera niskog protoka u Fazi III istraživanja



Slika 11. Položaj dva paralelno vezana filtera niskog protoka u Fazi III istraživanja



Slika 12. Položaj tri paralelno vezana filtera niskog protoka u Fazi III istraživanja

Faza IV

Četvrta faza istraživanja podrazumeva laboratorijsku analizu kondenzata iz sistema vazduha pod pritiskom, odnosno određivanje sadržaja ulja u uzorkovanom kondenzatu, radi dobijanja adekvatnih podataka za definisanje načina daljeg upravljanja kondenzatom.

Dalji rad u ovoj fazi podrazumeva istraživanje regulative u Republici Srbiji, koja definiše način odlaganja otpadnog ulja, a kome i pripada kondenzat vazduha pod pritiskom.

3.1.2 Istraživačke metode

Prilikom istraživačkog rada birane su metode koje će obezbediti objektivnost, pouzdanost, preciznost, sistematičnost i opštost.

Metoda eksperimenta

Eksperimentalna istraživanja se mogu definisati pomoću:

1) predmeta koji se posmatra

U konkretnom istraživanju postoje dva predmeta posmatranja, budući da je istraživanje usmereno na dve oblasti, gde faze II i III čine jednu oblast istraživanja, a faza IV drugu oblast istraživanja. U prvom slučaju, predmet posmatranja je filter vazduha pod pritiskom i pad pritiska koji on izaziva.

U drugom slučaju je predmet posmatranja kondenzat iz sistema vazduha pod pritiskom.

2) eksperimentalnog faktora

Pad pritiska na filterima je posmatran u zavisnosti od tri faktora: stepena filtracije (gustine filterskog uloška), veličine radnog pritiska i protoka vazduha pod pritiskom u sistemu.

Eksperimentalni faktor u fazi IV istraživanja predstavlja koncentracija ulja u kondenzatu vazduha pod pritiskom, budući da kvantitet i kvalitet ulja u kondenzatu određuje korake daljeg postupanja sa kondenzatom.

3) uticaja eksperimentalnog faktora na predmet koji se posmatra

Dokazan je značajan uticaj posmatranih faktora na predmet koji se posmatra, odnosno, pad pritiska u velikoj meri zavisi od njegovog stepena filtracije, veličine radnog pritiska i protoka vazduha, a kao primarna posledica se javlja različit stepen efikasnosti upotrebe filtera vazduha pod pritiskom, dok je sekundarnih posledica mnogo.

Uticaj kondenzata iz sistema vazduha pod pritiskom može varirati od bezopasnog do kancerogenog, u zavisnosti od procesa koji se odvijaju u sistemima vazduha pod pritiskom od momenta kompresije do momenta njegove upotrebe. Iz tog razloga je izuzetno važno znati kako odrediti sastav kondenzata, kako klasifikovati kondenzat i kako dalje sa njime postupati, da ne bi došlo do negativnih efekata bilo na ljude, bilo na životnu okolinu.

Dobijeni rezultati su predstavljeni graficima i tabelama, koji služe za utvrđivanje karakteristika, struktura i zakonitosti pada pritiska na filterima u zavisnosti od posmatranih faktora. Utvrđena je uzročno-posledične veza posmatranih faktora.

Metoda analize

Metoda analize je korišćena radi određivanja uticaja pritiska i protoka na pad pritiska na filterima, u smislu međusobno povezanih elemenata celine sistema vazduha pod pritiskom. Celina i delovi imaju svoja kvalitativna i kvantitativna svojstva, svoj sastav, svoje odnose, promene, itd, u posmatranom vremenu.

Kao specijalan model korišćena je analiza sastava predmeta, kojom je utvrđen kvalitativan sastav uzorka kondenzata iz sistema vazduha pod pritiskom.

Metoda sinteze

Metoda sinteze je korišćena u smislu objedinjavanja pojedinačnih zaključaka o uticaju više analiziranih faktora: stepena filtracije, veličine radnog pritiska i protoka u sistemima vazduha pod pritiskom na pad pritiska na filterima.

Metode indukcije i generalizacije

Budući da se induktivnom metodom do opšteg zaključka dolazi na temelju posebnih ili pojedinačnih činjenica, tako je u ovom istraživanju vršeno zaključivanje od posebnog i pojedinačnog do opšteg. Kao posledica induktivnog razmišljanja, ukazala se potreba za korišćenjem metode generalizacije.

Metoda generalizacije se koristi za formiranje opštih stavova na osnovu pojedinačnih zaključaka, tj. izvršena je generalizacija zaključaka o padu pritiska na posmatranim filterima uopštavanjem stavova na celu klasu filtera istih karakteristika u smislu stepena filtracije.

3.1.3 Laboratorije i oprema za eksperimentalni rad

Eksperimentalni rad je obavljen u prostorijama Fakulteta tehničkih nauka, odnosno u laboratorijama MI125 i MIG3, u zgradi Mašinskih instituta.

Prilikom eksperimentalnog rada korišćena je sledeća oprema:

1) merni uređaji

- AirBox tip GHDA-FQ-M-FDMJ-A (Festo, 2006a), je multifunkcionalni uređaj koji služi za merenje protoka vazduha i određivanje količine vode i ulja u vazduhu pod pritiskom. U oba slučaja vrši se i beleženje radnog pritiska i temperature u sistemu.
- HandiLaz Mini particle counter (PMS, 2009), uređaj koji služi za brojanje čestica u određenom uzorku vazduha pod pritiskom.
- HPD III difuzor visokog pritiska, uređaj koji smanjuje pritisak vazduha na atmosferski.

- Integrisani uređaj za daljinski nadzor pada pritiska na filterima vazduha pod pritiskom sa upotrebom dva manometra, koji je razvijen na Fakultetu tehničkih nauka (Šešlija, et al. 2011).
- 2) uređaj za snabdevanje vazduhom pod pritiskom
- Kompresor Panair System HD105CVBi, za snabdevanje vazduhom određenog pritiska.
- 3) ostala oprema
- čestični filteri vazduha pod pritiskom srednjeg i niskog protoka, LF-D-MIDI i LF-D-MINI (Festo, 2012b), sa različitim filterskim ulošcima, stepena filtracije 40 i 5 μm ,
 - koalescentni filteri vazduha pod pritiskom srednjeg i niskog protoka, LFMB-D-MIDI i LFMB-D-MINI (Festo, 2012b), stepena filtracije 1 μm , i LFMA-D-MIDI i LFMA-D-MINI (Festo, 2012b), stepena filtracije 0,01 μm ,
 - Dräger indikatorske cevčice za određivanje količine vode i ulja u vazduhu pod pritiskom,
 - pomoćne pneumatske komponente u koju spadaju regulatori pritiska, razne vrste priključaka, pneumatska creva, prigušnice, itd.

AirBox, tip GHDA-FQ-M-FDM J-A

AirBox (slika 13) je mobilni uređaj namenjen za dve vrste merenja, u zavisnosti od toga na koji način se vazduh pod pritiskom dovede do samog uređaja:

1. merenje protoka vazduha pod pritiskom,
2. merenje količine vode i ulja u vazduhu pod pritiskom (Festo, 2006a).

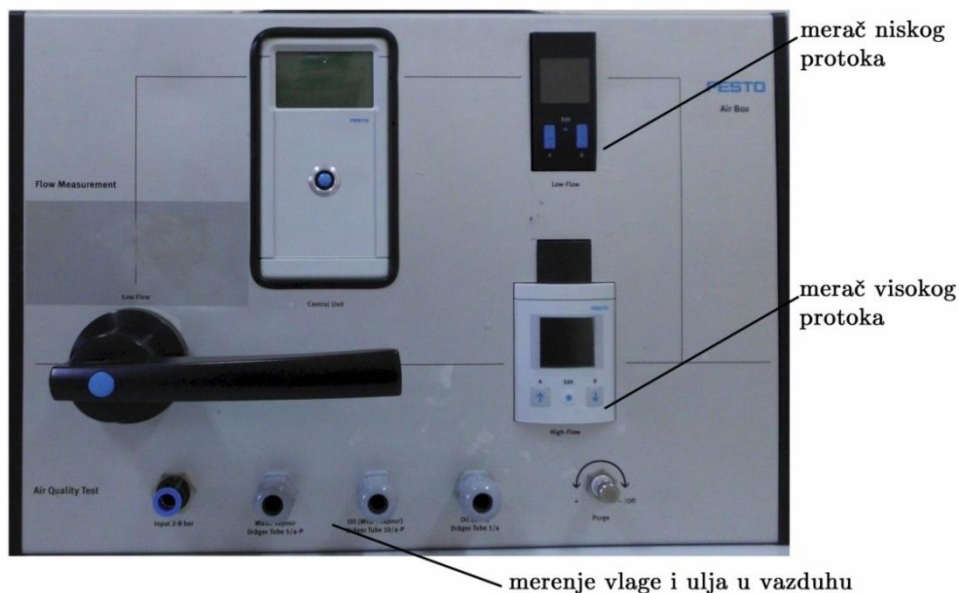
AirBox poseduje dve vrste protokomera:

- protokomer niskog protoka, tip SFE1 (*Lo-Flow*), koji ima mogućnost merenja protoka u intervalu 10 - 200 Nl/min , sa preciznošću merenja od $\pm 3\%$ i ponovljivošću 0,8% (Festo, 2007b), uz maksimalan radni pritisak od 10 bar,
- protokomer visokog protoka, tip MS6-SFE (*Hi-Flow*), sa mogućnošću merenja protoka od 200 do 5.000 Nl/min , sa preciznošću merenja od $\pm 3\%$ i ponovljivošću 0,8% (Festo, 2006b), uz konstantno praćenje pritiska vazduha, maksimalne vrednosti 10 bar.

Merenje protoka vazduha postiže se njegovim strujanjem pored površine koja se neprekidno zagreva. Struja vazduha apsorbuje toplotnu energiju sa tople površine i senzor meri veličinu protoka, koji je neophodan za održavanje date temperature na površini. Ovako izmereni protok predstavlja količinu vazduha koja protiče kroz uređaj. Vrednosti protoka vazduha pod pritiskom zapisuju se u internu memoriju uređaja. Takođe, prilikom svakog merenja protoka, vrši se i merenje pritiska i temperature vazduha po pritiskom.

Za utvrđivanje količine vode i ulja u vazduhu pod pritiskom, potrebne su Dräger indikatorske cevčice, koje u sebi sadrže kristale sa katalitičkim supstancama koje reaguju u dodiru sa vodom ili uljem iz vazduha pod pritiskom, na taj način da čestice vode ili ulja iz vazduha menjaju boju katalizatora u kristalima. Promena boje predstavlja meru stepena zagađenosti vazduha pod pritiskom.

AirBox omogućava merenje pomenutih veličina u statičkom i dinamičkom modu, odnosno u stanju kada se posmatrani sistem nalazi u stanju mirovanja ili u stanju u radu.



Slika 13. Merni uređaj AirBox

HandiLaz Mini brojač čestica (*Particle counter*)

HandiLaz Mini (slika 14) je mali, mobilni uređaj koji detektuje i broji čestice u određenoj zapremini vazduha. Čvrste čestice se od ostalih razlikuju po gustini, obliku, veličini i čvrstoći. HandiLaz Mini poseduje kanale merenja od 0,3; 0,5 i 5,0 μm i maksimalnu zapreminu pri jednom merenju od 2,83 Nl/min .



Slika 14. Merni uređaj HandiLaz Mini brojač čestica

Brojači čestica mogu raditi na više principa, ali je za sve karakteristično to da se visoki energetska izvor svetlosti koristi za osvetljavanje čestica koje prolaze kroz komoru brojača. Kod HandiLaz Mini uređaja čestice prolaze kroz laserski izvor svetlosti, svetlost se odbija od čestice i detektuje se pomoću foto detektora. Snimanje čestica vrši se korišćenjem kamere visoke rezolucije, gde se dobija dvodimenzionalna slika, koja se potom analizira pomoću specijalnog softvera (PMS, 2009).

HPD III difuzor visokog pritiska (*High pressure diffuser*)

Kako bi brojač čestica mogao efikasno da vrši funkciju za koju je namenjen, potrebno je pritisak vazduha, čija se analiza vrši, smanjiti na atmosferski nivo. Da bi se to postiglo, koristi se posebni uređaj – difuzor visokog pritiska (slika 15). Maksimalni protok vazduha pod pritiskom koji se može analizirati pri jednom uzorkovanju je 2,83 Nl/min, dok je maksimalan pritisak vazduha koji se može dovesti na ulaz difuzora 7 bar.

Osim sa vazduhom pod pritiskom, HPD III difuzor visokog pritiska se može koristiti i sa nitrogenom ili argonom (PMS, 2010).



Slika 15. Difuzor visokog pritiska HPD III

Integrirani uređaj za daljinski nadzor pada pritiska na filterima vazduha pod pritiskom sa upotrebom dva manometra

Integrirani uređaj za daljinski nadzor pada pritiska na filterima vazduha pod pritiskom sa upotrebom dva manometra (slika 16) je uređaj za određivanje pada pritiska na filterima vazduha pod pritiskom, na takav način da su postavljena dva nezavisna manometra, koji zajedno sačinjavaju senzorsku jedinicu. Korišćena su dva manometra proizvođača Danfoss, type MBS 3000, koji ostvaruju preciznost pri merenju od $\pm 0,05\%$ (Danfoss, 2007). Jedan manometar postavljen je na ulaz filtera i očitava pritisak vazduha koji dolazi u filter, dok je drugi manometar postavljen na izlaznom vodu filtera i očitava pritisak vazduha nakon prolaska kroz filter. Razlika između izmerenih vrednosti predstavlja pad pritiska koji filter izaziva, što predstavlja pokazatelj njegove zaprljanosti. Očitana razlika pritiska se putem tehnologije bežičnog prenosa prenosi na baznu jedinicu.

Postoje tri moguće situacije na osnovu kojih se utvrđuje stepen zaprljanosti filtera vazduha:

- Kada je razlika pritisaka na ulasku i izlasku iz filtera jednaka, ili veća od praga koji je definisan na senzorskoj jedinici, na displeju se ispisuje da se filter mora zameniti - *Filter must be replaced*.
- U slučaju kada je razlika pritisaka za 0,3 bara manja od praga, na displeju se ispisuje da je potrebno uskoro zameniti filter – *Replace filter in short time*.
- Kada je razlika očitanih pritisaka manja od praga za 0,4 bara ili više, ispisuje se poruka da je filter čist - *Filter is clean*.

U slučaju da očitavanje nije moguće iz nekog razloga, ispisuje se poruka da je greška u senzoru – *Sensor error*.

Primenom ovakvog uređaja se može povećati energetska efikasnost pneumatskog sistema, pošto se filterski elementi zamenjuju na osnovu realnog stepena zaprljanosti, a ne prema preporukama proizvođača (Šešlija, et al., 2011).



Slika 16. Integrisani uređaj za daljinski nadzor pada pritiska na filterima vazduha pod pritiskom sa upotrebom dva manometra

Kompresor Panair System HD105CVBi

Panair kompresor (slika 17) je dvoklipni kompresor, maksimalnog protoka 810 Nl/min i pritiska od 10 bar. Ovaj kompresor korišćen je za obezbedenje dovoljne količine vazduha pod pritiskom u eksperimentalnom delu istraživanja.

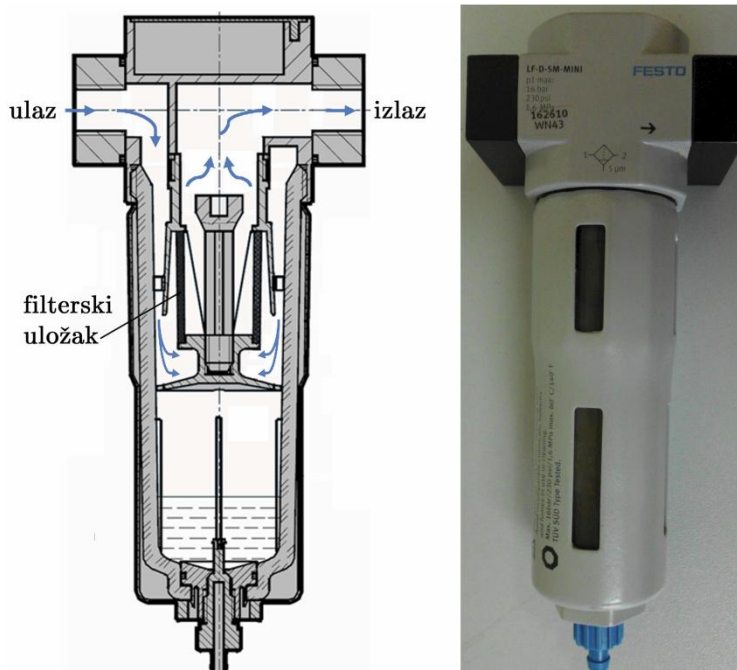


Slika 17. Kompresor Panair System HD105CVBi

Čestični filteri vazduha pod pritiskom

Čestični filteri LF serije (slika 18), LF-D-MIDI i LF-D-MINI, imaju stepen filtracije 40 i 5 μm , u zavisnosti od umetnutog filterskog uložka. Filterski uložak izrađen je od polietilena. Ova vrsta filtera primenjuje se za grubu filtraciju i najčešće se sreće u industrijskim postrojenjima. Maksimalan pritisak koji se može propustiti kroz ove filtere je 10 bar.

Ovi filteri funkcionišu tako što se vazduh pod pritiskom uvodi u šolju filtera i deflektorima se usmerava u silaznu spiralnu putanju. Usled dejstva centrifugalnih sila krupnije čestice nečistoća se izdvajaju. Izlaz iz šolje filtera jedino je moguć prolaskom vazduha kroz filterski uložak, u kome se zadržavaju finije čestice prljavštine.



Slika 18. Poprečni presek i fotografija čestičnog filtera

Korišćena vrsta filtera ima maksimalan protok 1.000 Nl/min za filtere manjih dimenzija (LF-D-MINI) i 2.700 Nl/min vazduha pod pritiskom za filtere srednjih dimenzija (LF-D-MIDI), dok je minimalan protok neophodan za efikasno funkcionisanje filtera od 125 Nl/min (Festo, 2012b).

Koalescentni filteri vazduha pod pritiskom

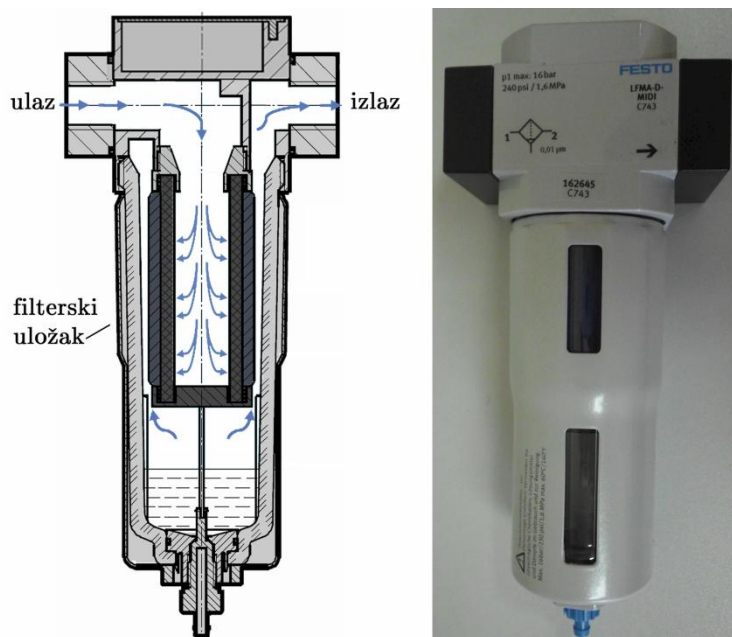
Koalescentni filteri (slika 19) korišćeni u okviru eksperimentalnog idtraživanja u ovoj disertaciji pripadaju serijama LFMA i LFMB, proizvođača Festo i imaju sposobnost filtracije čestica većih od 1 i 0,01 μm . Filterski uložak izrađen je od bor-silikatnih vlakana. Osim eliminacije čvrstih čestica, koalescentni filteri imaju sposobnost izdvajanja čestica tečnih aerosola. Maksimalan pritisak koji se može propustiti kroz ove filtere je 16 bar.

Koalesciranje se definiše kao progresivna aglomeracija (ukrupnjavanje) malih čestica aerosola u veće, na površini svakog pojedinog filterskog vlakna u okviru filterskog uložka.

Nečistoće se odstranjuju uz pomoć sile gravitacije, kada filterski uložak postane zasićen aerosolima koji su zajedno koalescirali i kada se oni potisnu do izlazne strane filterskog uloška zbog dejstva vazduha koji protiče kroz filterski element (Šešlija, 2002).

Za razliku od običnih filtera, kod koalescentnih filtera se vazduh uvodi u filtersku šolju sa unutrašnje strane. Na kraju prolaska vazduha kroz filterski uložak postavlja se sloj materijala koji se naziva sloj za dreniranje, kako bi pomogao u odvođenju koalesciranih čestica i sprečavanju njihovog ponovnog ulaska u struju vazduha.

Korišćena vrsta koalescentnih filtera, stepena filtracije 0,01 μm , ima maksimalan protok od 360 Nl/min za filtere niskog protoka (LFMA-D-MINI) i 880 Nl/min vazduha pod pritiskom za filtere srednjeg protoka (LFMA-D-MIDI). Koalescentni filteri stepena filtracije 1 μm imaju maksimalan protok 500 Nl/min za filtere niskog protoka (LFMB-D-MINI) i 1.420 Nl/min vazduha pod pritiskom za filtere srednjeg protoka (LFMB-D-MIDI). Minimalan protok vazduha neophodan za efikasno funkcionisanje filtera je 125 Nl/min (Festo, 2012b).



Slika 19. Poprečni presek i fotografija koalescentnog filtera

Dräger indikatorske cevčice

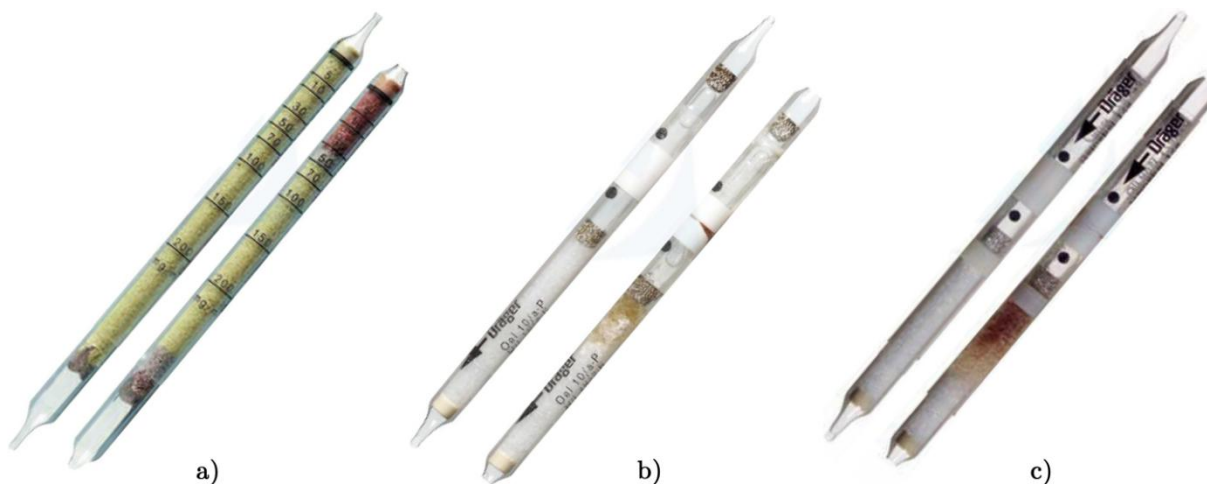
Prilikom merenja tačke rose i količine ulja u vazduhu pod pritiskom, korišćena je metoda hemijske reakcije. Ova metoda podrazumeva korišćenje cevčice sa hemijskim reagensima. Očitavanje tačke rose i količine ulja u vazduhu se vrši direktnim putem, na osnovu promene boje, koja se javlja kao posledica reakcije vode/ulja iz vazduha pod pritiskom i hemijske supstance koja se nalazi u cevčici.

Prilikom eksperimentalnog istraživanja korišćene su tri vrste Dräger indikatorskih cevčica (slika 20):

1. Dräger indikatorska cevčica 5/a-P,

2. Dräger indikatorska cevčica 10/a-P,
3. Dräger indikatorska cevčica 1/a.

Indikatorske cevčice se postavljaju u AirBox, koji pre početka merenja, redukuje pritisak vazduha na atmosferski.



Slika 20. Dräger indikatorske cevčice a) 5/a-P, b) 10/a-P i c) 1/a

Dräger indikatorska cevčica 5/a-P

Indikatorska cevčica 5/a-P (slika 20a) služi za određivanje tačke rose, odnosno količine vode u vazduhu pod pritiskom, u niskoj, 5 - 200 mg/m³, ili visokoj, 50 - 2.000 mg/m³, koncentraciji. Nakon proticanja vazduha pod pritiskom kroz indikatorsku cevčicu, u određenom vremenskom intervalu, dolazi do reakcije hemijskih supstanci, odnosno selenijum dioksida (SeO₂) i sumporne kiseline (H₂SO₄) sa vodom iz vazduha. Reakcijom dolazi do promene boje kristala u indikatorskoj cevčici iz žute u crvenkastu i sa skale se očitava vrednost vode u vazduhu pod pritiskom (Dräger, 2011a).

Dräger indikatorska cevčica 10/a-P

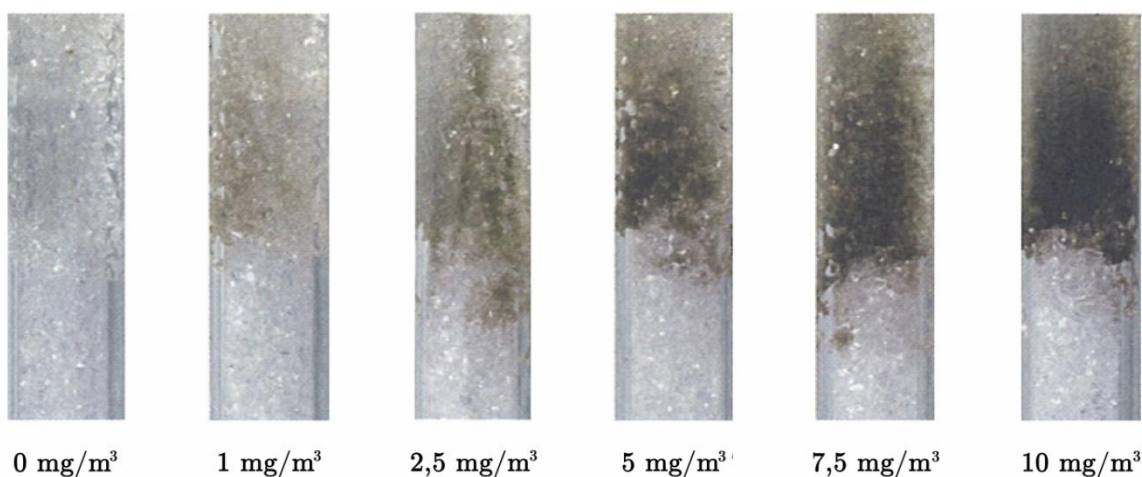
Indikatorska cevčica 10/a-P (slika 20b) služi za određivanje uljnih para i magle u vazduhu pod pritiskom u koncentraciji 0,1 - 5 mg/m³. Hemijska supstanca, sumporna kiselina (H₂SO₄), koja se nalazi u cevčicama reaguje sa česticama ulja i to sintetičkim i mineralnim, dok sa estarskim i bio uljima ne dolazi do reakcije.

Da bi došlo do reakcije između hemijske supstance u cevčici i ulja iz vazduha pod pritiskom, neophodno je obezbediti strujanje vazduha kroz cevčicu u određenom vremenskom periodu. Reakcija se utvrđuje promenom boje kristala u indikatorskoj cevčici od bele do žute ili braon, za sintetička, odnosno mineralna ulja. Dužina ovog intervala se određuje na osnovu preporuka proizvođača za određeni tip ulja. Drugim rečima, određivanje količine ulja u vazduhu pod pritiskom vrši se za unapred utvrđeni tip ulja, odnosno dokazuje se prisustvo određenog/pretpostavljenog tipa ulja u sistemu. U slučaju

nepoznavanja tipa ulja koje se može očekivati u sistemu, uzima se unapred definisana dužina intervala merenja (*default testing time*) (Dräger, 2011b).

Dräger indikatorska cevčica 1/a

Indikatorska cevčica 1/a (slika 20c) služi za određivanje uljne magle u vazduhu pod pritiskom u koncentraciji 1 - 10 mg/m³. U ovom tipu indikatorske cevčice se takođe nalazi sumporna kiselina kao reagens i vreme proticanja vazduha pod pritiskom se kao i za slučaj indikatorske cevčica 10/a-P, određuje na osnovu preporuka proizvođača za određeni tip ulja. Reakcijom dolazi do promene boje kristala u indikatorskoj cevčici, i na osnovu stepena promene boje određuje se količina ulja u vazduhu pod pritiskom, kao što je prikazano na slici 21 (Dräger, 2011c; ISO, 2010).



Slika 21. Reakcije u indikatorskim cevčicama 1/a u zavisnosti od količine ulja

3.2 Eksperiment I: Pad pritiska na različito povezanim filterima

Prvi deo eksperimentalnih istraživanja u okviru ove disertacije odnosi se na utvrđivanje stvarnog pada pritiska na filterima vazduha pod pritiskom. Svaki proizvođač filtera vazduha pod pritiskom, u dokumentaciji proizvoda, daje nominalne vrednosti pada pritiska (Festo, 2012b). Međutim, te vrednosti mogu da odstupaju od realnih vrednosti. Pad pritiska na filterima vazduha pod pritiskom zavisi od protoka i pritiska vazduha prilikom njegovog prolaska kroz filter, kao i od stepena filtracije samog filtera. Kako je pad pritiska vazduha značajan pokazatelj stepena efikasnosti filtera, tako je utvrđivanje realnog pada pritiska od izuzetnog značaja iz aspekta održive proizvodnje.

Ideja koja se nalazi u pozadini ovog dela eksperimentalnog istraživanja zasniva se na postizanju što manjeg pada pritiska, primenom dva ili tri paralelno vezana filtera vazduha pod pritiskom, umesto jednog, ili eventualno, primenom filtera većeg kapaciteta od neophodnog, ukoliko je to moguće i ekonomski opravdati.

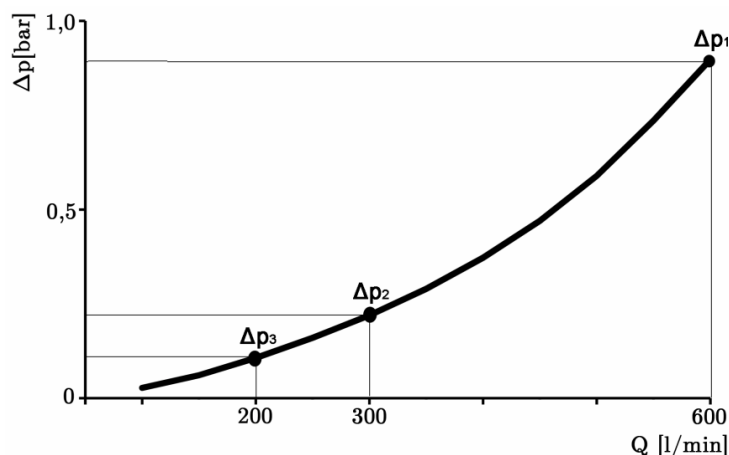
Primeru radi, pri protoku od 600 Nl/min i određenom pritisku, posmatrani filter ima određeni pad pritiska Δp_1 . Ukoliko se umesto posmatranog filtera postave ista takva dva paralelno vezana filtera, protok od 600 Nl/min će se raspodeliti na dva novopostavljena filtera, što je i eksperimentalno dokazano, tako da će kroz svaki od njih proticati po 300 Nl/min vazduha pod pritiskom. Smanjenjem protoka javlja se pad pritiska Δp_2 , čime se ostvaruje značajno smanjenje pada pritiska $\Delta p_1 - \Delta p_2$, što je i prikazano na slici 22. Budući da pad pritiska Δp_2 važi samo za jedan filter, udvostručavanjem ove vrednosti, dobija se stvarni pad pritiska.

Ukoliko se posmatrani filter zameni sa tri takva filtera paralelno povezana, protok vazduha od 600 Nl/min će se rasporediti ka tri filtera, na kojima će se onda javiti protok od 200 Nl/min. Time će se javiti pad pritiska Δp_3 i ostvariti smanjenje ukupnog pada pritiska u vrednosti od $\Delta p_1 - \Delta p_3$, kao što se može videti na slici 22. Međutim, kako ovaj pad pritiska važi za jedan filter, a na instalaciji se nalaze tri identična filtera, ovu vrednost je neophodno utrostručiti, kako bi se dobio stvarni pad pritiska.

Da li će ukupan pad pritiska biti manji ukoliko filter zamenimo sa dva ili sa tri ista filtera paralelno postavljena, potrebno je eksperimentalno utvrditi. Naravno, instalacija dodatnih filtera iziskuje i dodatne troškove, koji nikako ne smeju biti zanemareni.

Takođe, razmotrena je i mogućnost instalacije filtera većeg protoka, jer bi se time obezbedila dodatna ušteda u padu pritiska, ali i ovaj slučaj zahteva tehnoekonomsku analizu.

Eksperimentalna istraživanja u ovom delu disertacije poslužiće za pronalaženje odgovora na ova pitanja, kao i sagledavanje ukupne problematike iz aspekta održive proizvodnje.



Slika 22. Pad pritiska na filteru u funkciji protoka

3.2.1 Postavka eksperimenta

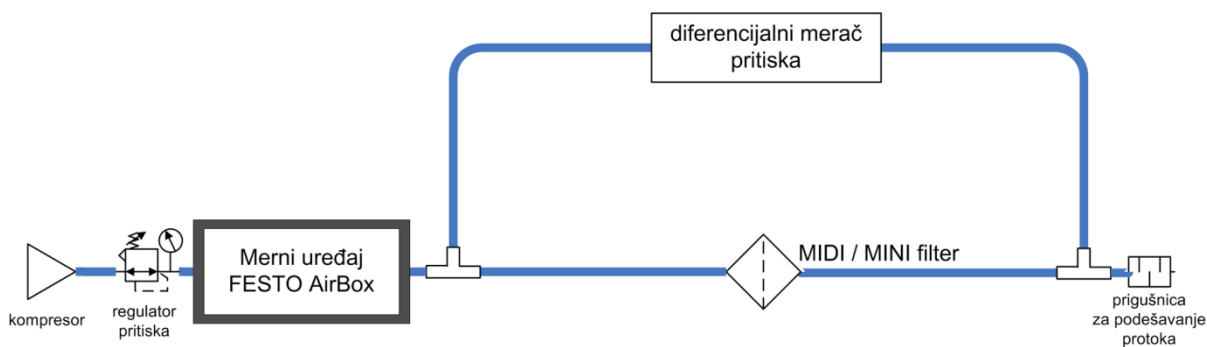
U skladu sa prethodno navedenim, vršeno je ispitivanje pada pritiska na različitim filterima vazduha pod pritiskom i to za filtere niskog (MINI) i srednjeg protoka (MIDI). Jedan filter niskog protoka zamenjen je sa paralelno postavljena dva, odnosno tri ista takva filtera. U drugom slučaju, umesto filtera niskog protoka postavljen je filter srednjeg protoka. Sve dodatne varijante filtera treba da obezbede približan protok, kao što je dato u tabeli 7.

Apsolutno poklapanje u zbiru protoka filtera niskog protoka sa protokom filtera srednjeg protoka nije moguće, ali kako se i filteri dimenzionišu prema maksimalnom protoku, uz dodatak određenog procenta radi sigurnosti, a ne prema prosečnim potrebama, tako se i ovakva kombinacija filtera može opravdati.

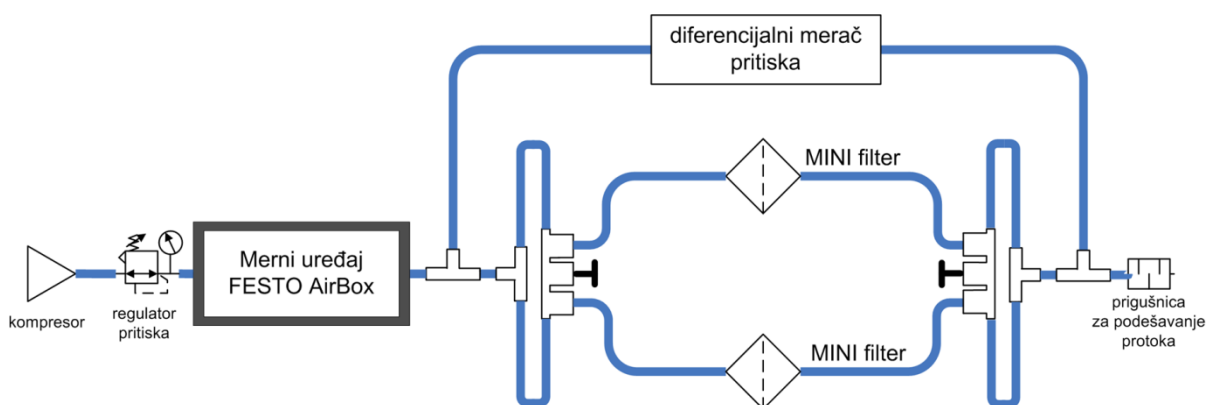
Tabela 7. Poređenje varijanti filtera niskog i srednjeg protoka za ispitivane vrste filtera

Vrste i raspored filtera			
MINI	2xMINI	3xMINI	MIDI
čestični filter (oznaka LF) - stepen filtracije 40 i 5 μm			
1.000 Nl/min	2 x 1.000 = 2.000 Nl/min	3 x 1.000 = 3.000 Nl/min	2.700 Nl/min
koalescentni filter (oznaka LFMB) - stepen filtracije 1 μm			
500 Nl/min	2 x 500 = 1.000 Nl/min	3 x 500 = 1.500 Nl/min	1.420 Nl/min
koalescentni filter (oznaka LFMA)- stepen filtracije 0,01 μm			
360 Nl/min	2 x 360 = 720 Nl/min	3 x 360 = 1.080 Nl/min	880 Nl/min

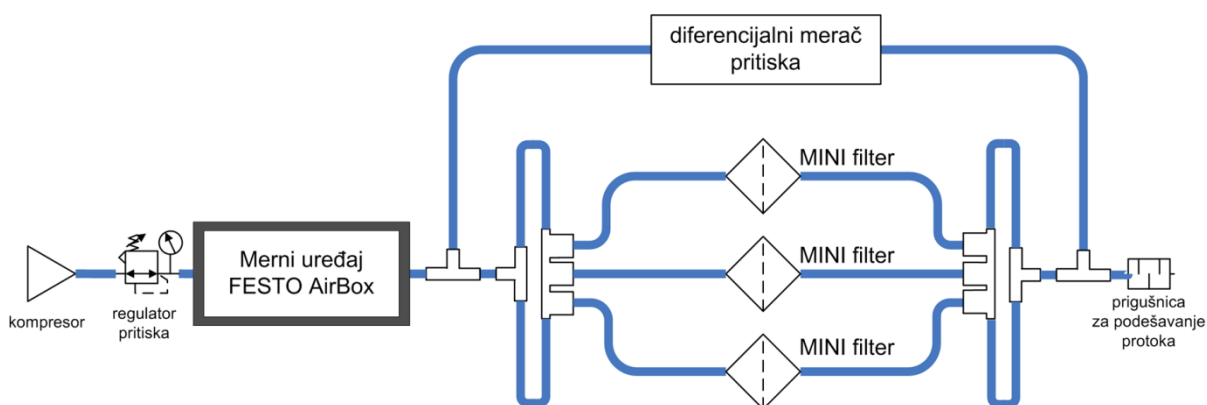
Sheme povezivanja potrebne opreme za izvođenje merenja pada pritiska predstavljene su na slikama 23, 24 i 25.



Slika 23. Shema povezivanja opreme pri merenju pada pritiska na jednom filteru niskog/srednjeg protoka



Slika 24. Shema povezivanja opreme pri merenju pada pritiska na dva paralelno vezana filtera niskog protoka



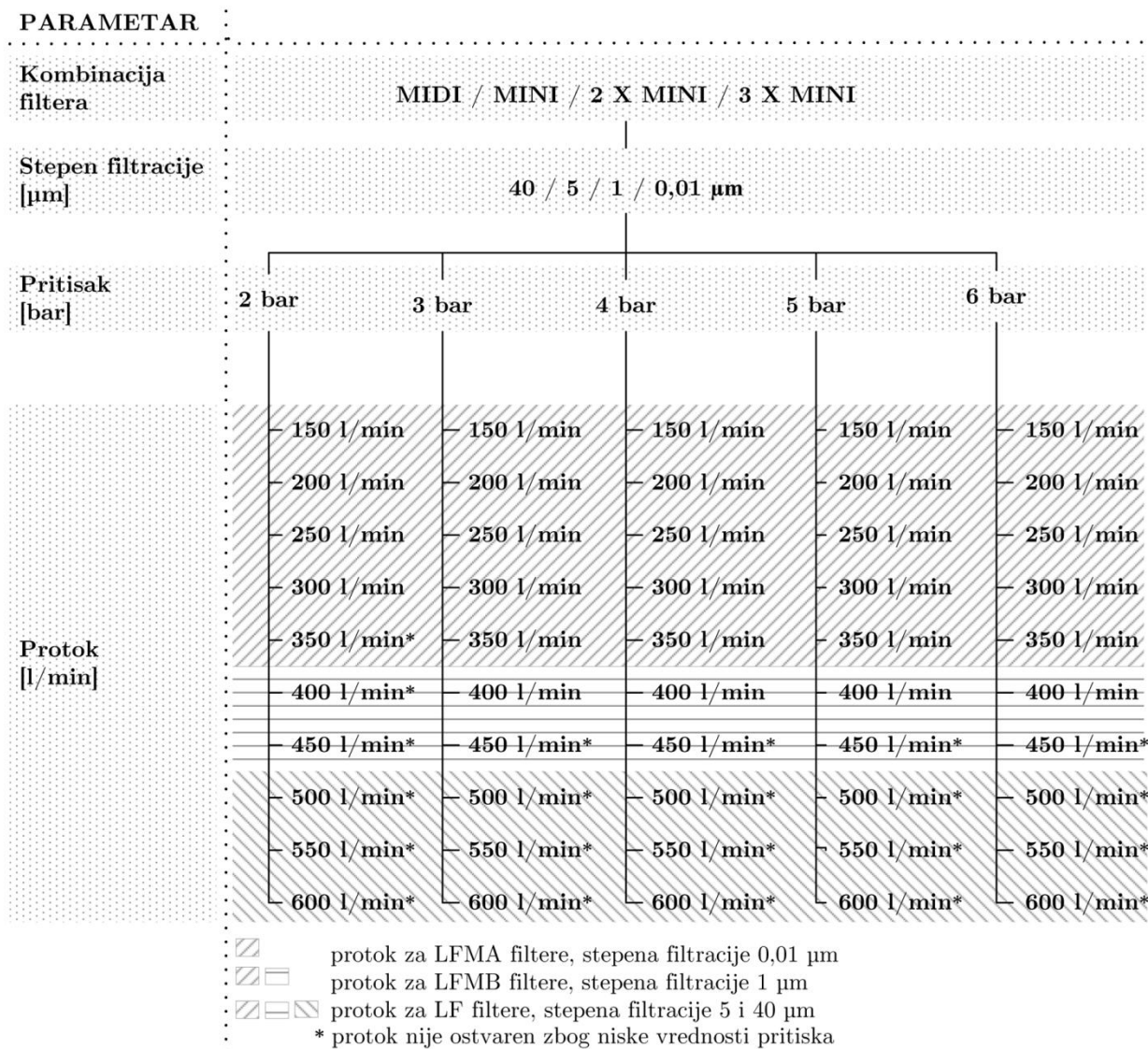
Slika 25. Shema povezivanja opreme pri merenju pada pritiska na tri paralelno vezana filtera niskog protoka

Ceo sistem je priključen na kompresor. Nakon kompresora postavljena je pripremna grupa koja se sastoji od čestičnog filtera, stepena filtracije 40 μm , sa regulatorom pritiska i zauljivača vazduha. Nakon pripreme grupe postavljen je zaseban regulator pritiska, čime je vršeno podešavanje pritiska u sistemu. Posle regulatora pritiska postavljen je merni uređaj AirBox kojim se vrši provera stvarne vrednosti pritiska u sistemu i beleži vrednost pritiska, protoka i temperature vazduha.

Nakon mernog uređaja, vazduh pod pritiskom se usmerava ka filteru/filterima. Deo vazduha se izuzima kako bi se doveo do diferencijalnog merača pritiska i izmerila tačna vrednost pritiska na ulazu u filter/filtere vazduha pod pritiskom.

Nakon prolaska vazduha kroz filter, deo vazduha se izuzima kako bi se izmerio pritisak vazduha na izlasku iz filtera, a ostatak vazduha se ispušta u atmosferu preko podesive prigušnice. Glavna uloga prigušnice jeste podešavanje količine vazduha koja se ispušta u atmosferu, odnosno protoka vazduha kroz ceo sistem. Nadzor protoka vazduha se takođe vrši preko AirBox uređaja, jer se time sa preciznošću može utvrditi koja količina vazduha protokne kroz filter/filtere.

Pored pomenutih veličina filtera (MINI i MIDI) i kombinacije povezivanja (MINI, 2xMINI i 3xMINI i MIDI), vršena je i promena pritiska u vrednostima od 2 do 6 bara, u intervalima od 1 bar. Nakon toga je za svaku moguću opciju vršena promena protoka u vrednostima od 150 do 600 Nl/min , u intervalima od 50 Nl/min . Shema promena parametara testiranja predstavljena je na slici 26.



Slika 26. Shema promena parametara testiranja pri merenju pada pritiska

3.2.2 Rezultati

U okviru ovog poglavlja dati su rezultati merenja pada pritiska za različite parametre testiranja (predstavljenim na slici 26). Tačne vrednosti dobijenih rezultata su predstavljene u tabelama 8-23. Radi lakšeg poređenja i uvida u međusobne odnose padova pritiska koji se javljaju na posmatranim kombinacijama filtera, dobijeni rezultati su i grafički predstavljeni na slikama 28, 29, 30 i 31.

Prilikom utvrđivanja pada pritiska na dva, odnosno tri paralelno vezana filtera, vršena je provera protoka kroz svaki od filtera. Eksperimentalno je utvrđeno da se struja vazduha pod pritiskom ravnomerno raspoređuje ka dva, odnosno tri filtera, uz odstupanje od maksimalno 2% u slučaju prve i 1% u slučaju druge instalacije.

U tabeli 8 prikazani su rezultati merenja pada pritiska na čestičnom filteru srednjeg protoka, stepena filtracije 40 μm , a prema shemi povezivanja opreme predstavljenoj na slici 23. Shema povezivanja opreme je identična u slučajevima merenja pada pritiska na filterima srednjeg i niskog protoka.

Jasno se uočava činjenica da se sa povećanjem pritiska, a pri konstantnom protoku vazduha, smanjuje pad pritiska koji se javlja. Takođe, povećavanjem protoka, uz održanje konstantnog pritiska, povećava se i pad pritiska na filterima.

Tabela 8. Pad pritiska na čestičnom filteru srednjeg protoka, filtracije 40 μm

protok [Nl/min]	pritisak [bar]				
	2	3	4	5	6
150	0,052	0,037	0,027	0,024	0,015
200	0,107	0,064	0,049	0,040	0,034
250	0,147	0,095	0,076	0,061	0,049
300	/	0,134	0,122	0,092	0,076
350	/	0,198	0,147	0,116	0,110
400	/	/	0,198	0,171	0,137
450	/	/	0,260	0,203	0,171
500	/	/	/	0,263	0,214
550	/	/	/	0,305	0,275
600	/	/	/	/	0,321

/ protok nije ostvaren zbog niske vrednosti pritiska

U tabeli 9 su dati rezultati merenja pada pritiska na čestičnom filteru niskog protoka, stepena filtracije 40 μm .

Tabela 9. Pad pritiska na čestičnom filteru niskog protoka, filtracije 40 μm

protok [Nl/min]	pritisak [bar]				
	2	3	4	5	6
150	0,150	0,105	0,089	0,067	0,061
200	0,263	0,192	0,150	0,116	0,107
250	0,391	0,284	0,220	0,183	0,147
300	/	0,388	0,314	0,260	0,214
350	/	0,540	0,423	0,345	0,278
400	/	/	0,562	0,452	0,372
450	/	/	0,714	0,585	0,470
500	/	/	/	0,718	0,589
550	/	/	/	0,879	0,721
600	/	/	/	/	0,876

/ protok nije ostvaren zbog niske vrednosti pritiska

U tabeli 10 predstavljeni su rezultati dobijeni merenjem pada pritiska na dva paralelno postavljena čestična filtera niskog protoka, stepena filtracije 40 μm , a prema shemi povezivanja opreme predstavljenoj na slici 24, a u tabeli 11 rezultati pada pritiska na tri paralelno vezana čestična filtera niskog protoka, takođe stepena filtracije 40 μm , a prema shemi povezivanja opreme datoj na slici 25.

Tabela 10. Pad pritiska na dva paralelno vezana čestična filtera niskog protoka, filtracije 40 μm

protok [Nl/min]	pritisak [bar]				
	2	3	4	5	6
150	0,064	0,052	0,040	0,034	0,031
200	0,113	0,082	0,064	0,055	0,046
250	0,180	0,128	0,101	0,082	0,067
300	/	0,183	0,144	0,119	0,104
350	/	0,250	0,189	0,162	0,134
400	/	/	0,256	0,211	0,192
450	/	/	0,321	0,275	0,226
500	/	/	/	0,333	0,293
550	/	/	/	0,406	0,339
600	/	/	/	/	0,440

/ protok nije ostvaren zbog niske vrednosti pritiska

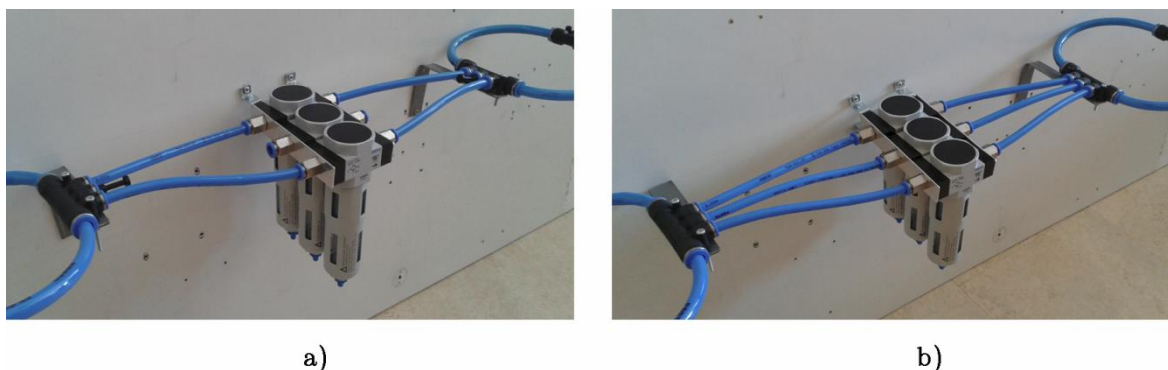
Tabela 11. Pad pritiska na tri paralelno vezana čestična filtera niskog protoka, filtracije 40 μm

protok [Nl/min]	pritisak [bar]				
	2	3	4	5	6
150	0,052	0,031	0,027	0,024	0,021
200	0,082	0,061	0,046	0,043	0,037
250	0,128	0,092	0,070	0,061	0,055
300	/	0,134	0,104	0,082	0,073
350	/	0,180	0,137	0,116	0,101
400	/	/	0,180	0,153	0,125
450	/	/	0,229	0,198	0,165
500	/	/	/	0,229	0,202
550	/	/	/	0,284	0,238
600	/	/	/	/	0,311

/ protok nije ostvaren zbog niske vrednosti pritiska

Na slici 27 predstavljene su fotografije iz laboratorije na kojima se može videti položaj filtera pri merenju na dva (slika 27a), odnosno tri (slika 27b) paralelno vezana čestična filtera niskog protoka. Filteri su isključivani i uključivani na snadbevanje vazduhom pod pritiskom prostim zapušavanjem i otpušavanjem potrebnih priključaka. Filteri su

postavljeni tako da je svakom od njih obezbeđen konstantan i jednak dotok vazduha pod prtiiskom.



Slika 27. Fotografija a) dva i b) tri paralelno vezana filtera u fazi III sprovođenja eksperimenta

Prema rezultatima koji su predstavljeni u prethodnim tabelama, jasno se mogu uočiti dva trenda. Prvi je da se sa porastom protoka kroz filtere vazduha pod pritiskom, pri istom radnom pritisku, povećava i pad pritiska, a drugi je da se porastom radnog pritiska, a pri konstantnom protoku, smanjuje pad pritiska prilikom prolaska vazduha kroz filtere. Ovo pravilo je potvrđeno i za ostale ispitivane stepene filtracije.

U tabeli 12 su prikazani rezultati merenja pada pritiska za čestični filter srednjeg protoka, stepena filtracije $5\ \mu\text{m}$, a u tabeli 13 izmeren pad pritiska na čestičnom filteru niskog protoka. Shema povezivanja opreme je ista kao i u prethodnim slučajevima za filtere srednjeg i niskog protoka, odnosno prema shemi datoj na slici 23, odnosno u slučajevima čestičnih filtera, stepena filtracije 40 i $5\ \mu\text{m}$, se menja samo filterski uložak, a ne ceo filter.

Tabela 12. Pad pritiska na čestičnom filteru srednjeg protoka, filtracije $5\ \mu\text{m}$

protok [Nl/min]	pritisak [bar]				
	2	3	4	5	6
150	0,079	0,061	0,046	0,037	0,024
200	0,134	0,104	0,073	0,061	0,046
250	0,171	0,137	0,104	0,082	0,076
300	/	0,189	0,147	0,116	0,104
350	/	0,269	0,198	0,147	0,122
400	/	/	0,260	0,214	0,177
450	/	/	0,321	0,250	0,195
500	/	/	/	0,293	0,269
550	/	/	/	0,397	0,305
600	/	/	/	/	0,409

/ protok nije ostvaren zbog niske vrednosti pritiska

Tabela 13. Pad pritiska na čestičnom filteru niskog protoka, filtracije 5 μm

protok [Nl/min]	pritisak [bar]				
	2	3	4	5	6
150	0,156	0,111	0,090	0,072	0,061
200	0,281	0,195	0,151	0,122	0,107
250	0,397	0,287	0,220	0,183	0,150
300	/	0,403	0,321	0,263	0,220
350	/	0,547	0,427	0,348	0,287
400	/	/	0,565	0,470	0,372
450	/	/	0,724	0,591	0,485
500	/	/	/	0,724	0,592
550	/	/	/	0,888	0,736
600	/	/	/	/	0,898

/ protok nije ostvaren zbog niske vrednosti pritiska

U tabelama 14 i 15 su dati rezultati pada pritiska za dva, odnosno tri paralelno vezana čestična filtera, stepena filtracije 5 μm .

Tabela 14. Pad pritiska na dva paralelno vezana čestična filtera niskog protoka, filtracije 5 μm

protok [Nl/min]	pritisak [bar]				
	2	3	4	5	6
150	0,076	0,055	0,043	0,037	0,031
200	0,137	0,089	0,076	0,061	0,052
250	0,198	0,137	0,113	0,089	0,076
300	/	0,198	0,156	0,128	0,113
350	/	0,260	0,208	0,174	0,147
400	/	/	0,281	0,214	0,202
450	/	/	0,351	0,275	0,244
500	/	/	/	0,339	0,296
550	/	/	/	0,415	0,382
600	/	/	/	/	0,485

/ protok nije ostvaren zbog niske vrednosti pritiska

Tabela 15. Pad pritiska na tri paralelno vezana čestična filtera niskog protoka, filtracije 5 μm

protok [Nl/min] \ pritisak [bar]	2	3	4	5	6
150	0,055	0,043	0,031	0,024	0,021
200	0,092	0,070	0,055	0,052	0,037
250	0,134	0,098	0,079	0,061	0,055
300	/	0,147	0,116	0,092	0,082
350	/	0,195	0,153	0,125	0,107
400	/	/	0,202	0,159	0,134
450	/	/	0,247	0,208	0,168
500	/	/	/	0,256	0,211
550	/	/	/	0,305	0,269
600	/	/	/	/	0,327

/ protok nije ostvaren zbog niske vrednosti pritiska

U nastavku su prikazani rezultati pada pritiska mereni na koalescentnim filterima.

U tabeli 16 su prikazani dobijeni rezultati za koalescentni filter srednjeg protoka, stepena filtracije 1 μm , a u tabeli 17 za koalescentni filter niskog protoka.

Tabela 16. Pad pritiska na koalescentnom filteru srednjeg protoka, filtracije 1 μm

pritisak [bar] \ protok [Nl/min]	2	3	4	5	6
150	0,043	0,034	0,024	0,021	0,015
200	0,070	0,049	0,040	0,031	0,026
250	0,095	0,070	0,055	0,043	0,037
300	/	0,098	0,079	0,061	0,052
350	/	0,128	0,107	0,085	0,069
400	/	/	0,133	0,111	0,095
450	/	/	0,168	0,137	0,113
500	/	/	/	0,159	0,137

/ protok nije ostvaren zbog niske vrednosti pritiska

Tabela 17. Pad pritiska na koalescentnom filteru niskog protoka, filtracije 1 μm

protok [Nl/min]	pritisak [bar]				
	2	3	4	5	6
150	0,145	0,107	0,085	0,069	0,058
200	0,253	0,180	0,140	0,116	0,101
250	0,403	0,278	0,217	0,174	0,144
300	/	0,424	0,296	0,244	0,205
350	/	0,556	0,412	0,324	0,281
400	/	/	0,565	0,437	0,366
450	/	/	0,699	0,562	0,461
500	/	/	/	0,705	0,571

/ protok nije ostvaren zbog niske vrednosti pritiska

Za slučajeve upotrebe koalescentnih filtera je preporučena instalacija čestičnih filtera na cevovodu pre, kako bi se izbeglo veoma brzo zaprljanje filterskog uloška. Sledeći ove preporuke, pre koalescentnih filtera stepena filtracije 1 μm , postavljen je čestični filter stepena filtracije 40 μm . Čestični filter je postavljen odmah nakon kompresora, a pre regulatora pritiska (slike 23, 24 i 25), kako bi se sprečio prolazak većih nečistoća ka koalescentnim filterima i kako bi pritisak u sistemu mogao da se podesi na zahtevani nivo.

U tabelama 18 i 19 su dati rezultati izmerenog pada pritiska za dva, odnosno tri paralelno vezana koalescentna filtera niskog protoka, stepena filtracije 1 μm .

Tabela 18. Pad pritiska na dva paralelno vezana koalescentna filtera niskog protoka, filtracije 1 μm

protok [Nl/min]	pritisak [bar]				
	2	3	4	5	6
150	0,067	0,052	0,037	0,031	0,018
200	0,107	0,082	0,067	0,052	0,035
250	0,168	0,122	0,089	0,076	0,055
300	/	0,162	0,128	0,107	0,082
350	/	0,220	0,171	0,137	0,104
400	/	/	0,229	0,186	0,147
450	/	/	0,296	0,229	0,186
500	/	/	/	0,275	0,229

/ protok nije ostvaren zbog niske vrednosti pritiska

Tabela 19. Pad pritiska na tri paralelno vezana koalescentna filtera niskog protoka, filtracije 1 μm

protok [Nl/min]	pritisak [bar]				
	2	3	4	5	6
150	0,052	0,034	0,027	0,024	0,018
200	0,089	0,064	0,046	0,040	0,031
250	0,104	0,082	0,064	0,058	0,043
300	/	0,116	0,098	0,079	0,061
350	/	0,165	0,122	0,098	0,089
400	/	/	0,162	0,128	0,107
450	/	/	0,208	0,159	0,134
500	/	/	/	0,208	0,168

/ protok nije ostvaren zbog niske vrednosti pritiska

I u slučaju koalescentnih filtera može se potvrditi postojanje uočenih trendova, odnosno povećanjem protoka kroz filtere vazduha pod pritiskom, pri konstantnom radnom pritisku, povećava se i pad pritiska, a povećanjem radnog pritiska, pri konstantnom protoku, smanjuje se pad pritiska na filterima.

Prilikom sprovođenja eksperimenta sa koalescentnim filterima stepena filtracije 0,01 μm , takođe je instaliran čestični filter, ali stepena filtracije 5 μm . Ovaj filter je odabran radi smanjenja zagađenja u sistemu vazduha pod pritiskom, budući da je naredni stepen filtracije koji se primenjuje veoma mali, tačnije 0,01 μm . I ovaj filter je postavljen odmah nakon kompresora, a pre regulatora pritiska (slike 23, 24 i 25).

U tabelama 20 i 21 su dati rezultati izmerenog pada pritiska na filterima srednjeg i niskog protoka.

Tabela 20. Pad pritiska na koalescentnom filteru srednjeg protoka, filtracije 0,01 μm

protok [Nl/min]	pritisak [bar]				
	2	3	4	5	6
150	0,064	0,046	0,037	0,029	0,024
200	0,096	0,070	0,055	0,047	0,040
250	0,131	0,098	0,073	0,067	0,052
300	/	0,131	0,101	0,085	0,069
350	/	0,165	0,134	0,107	0,092

/ protok nije ostvaren zbog niske vrednosti pritiska

Tabela 21. Pad pritiska na koalescentnom filteru niskog protoka, filtracije 0,01 μm

protok [Nl/min]	pritisak [bar]				
	2	3	4	5	6
150	0,244	0,174	0,144	0,116	0,096
200	0,391	0,284	0,220	0,183	0,150
250	0,585	0,400	0,305	0,253	0,211
300	/	0,560	0,431	0,348	0,287
350	/	0,745	0,550	0,464	0,376

/ protok nije ostvaren zbog niske vrednosti pritiska

U tabelama 22 i 23 su dati rezultati izmerenog pada pritiska za dva, odnosno tri paralelno vezana koalescentna filtera niskog protoka, stepena filtracije 0,01 μm .

Tabela 22. Pad pritiska na dva paralelno vezana koalescentna filtera niskog protoka, filtracije 0,01 μm

protok [Nl/min]	pritisak [bar]				
	2	3	4	5	6
150	0,113	0,085	0,067	0,055	0,043
200	0,174	0,131	0,104	0,087	0,070
250	0,250	0,186	0,144	0,119	0,101
300	/	0,255	0,195	0,163	0,134
350	/	0,333	0,253	0,208	0,174

/ protok nije ostvaren zbog niske vrednosti pritiska

Tabela 23. Pad pritiska na tri paralelno vezana koalescentna filtera niskog protoka, filtracije 0,01 μm

protok [Nl/min]	pritisak [bar]				
	2	3	4	5	6
150	0,085	0,064	0,049	0,040	0,034
200	0,134	0,098	0,076	0,058	0,052
250	0,192	0,134	0,104	0,087	0,073
300	/	0,186	0,144	0,122	0,101
350	/	0,250	0,192	0,159	0,131

/ protok nije ostvaren zbog niske vrednosti pritiska

Kako bi se stekao lakši uvid u međusobne odnose između dobijenih trendova pada pritiska na ispitivanim kombinacijama filtera, dobijeni podaci su predstavljeni i grafički, za vrednost pritiska od 6 bar. Ova vrednost pritiska je odabrana za detaljnije predstavljanje iz razloga što se ta vrednost pritiska najčešće koristi u industrijskim aplikacijama. Grafički prikaz ostalih rezultata merenja dat je u Prilogu 1.

Na slici 28 su predstavljeni dobijeni rezultati za ispitivane kombinacije čestičnih filtera, stepena filtracije $40\ \mu\text{m}$, pri radnom pritisku od 6 bar. Pad pritiska je predstavljen u zavisnosti od protoka vazduha pod pritiskom, u intervalu 150 - 600 Nl/min .

Kako se može uočiti sa dijagrama predstavljenim na slici 28, najveći pad pritiska javlja se na čestičnom filteru niskog protoka. Ukoliko se jedan filter, zameni sa dva identična, paralelno postavljena filtera, pad pritiska se značajno smanjuje. Dodavanjem još jednog filtera pad pritiska se dodatno smanjuje. Pretpostavka je da bi se svakim dodavanjem novog filtera, koji bi bio paralelno postavljen sa ostalim filterima na instalaciji, pad pritiska dalje smanjivao. Međutim, potrebno je pažljivo analizirati da li bi to bilo ekonomski isplativo.

Takođe, na predstavljenom dijagramu se može uočiti i kriva pada pritiska za čestični filter srednjeg protoka, koja se za posmatrani stepen filtracije od $40\ \mu\text{m}$, nalazi između krivih za dva i tri paralelno postavljena filtera niskog protoka. Instalacija jednog ovakvog filtera svakako mora biti pažljivo razmotrena. Detaljna diskusija svih rezultata biće predstavljena u poglavlju 3.4.

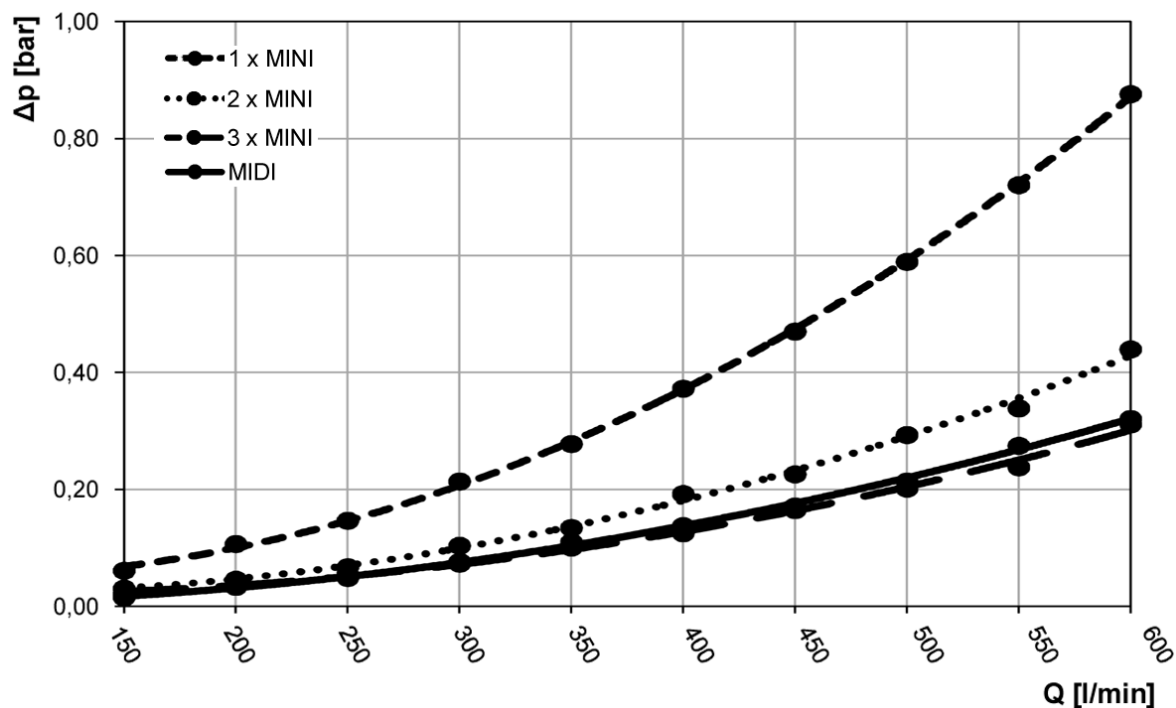
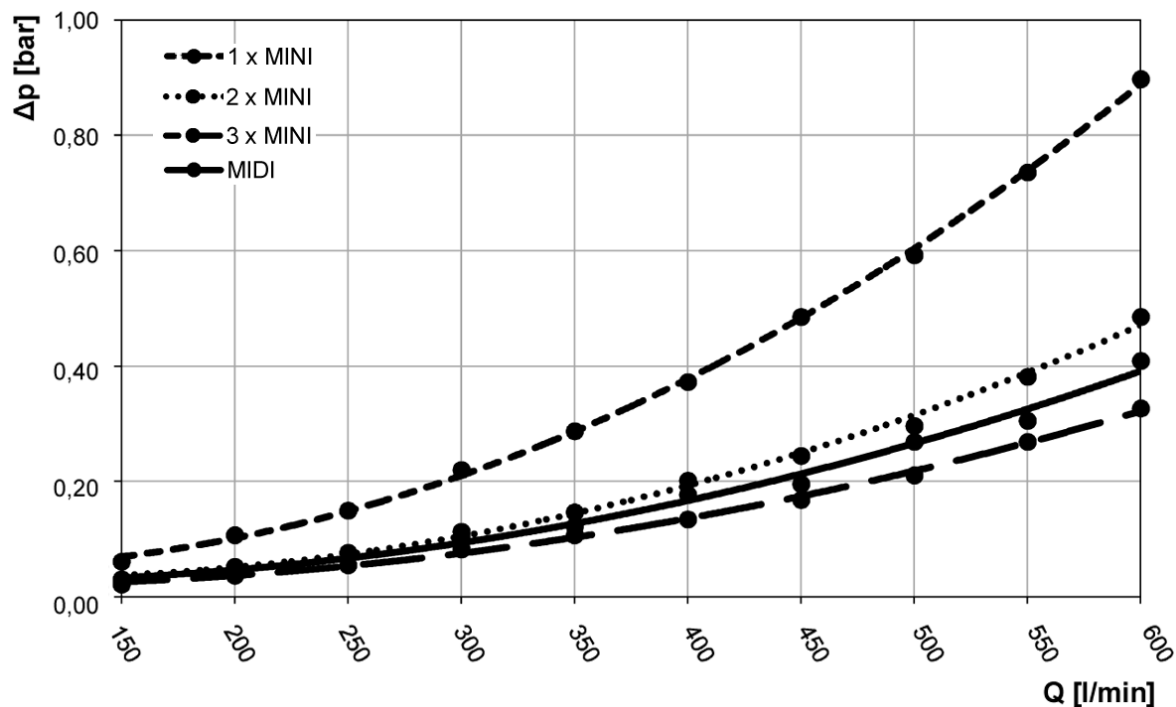
Na slici 29 dat je trend pada pritiska za ispitivane kombinacije filtera, stepena filtracije $5\ \mu\text{m}$, pri pritisku od 6 bar. Ovi filteri takođe spadaju u vrstu čestičnih filtera, odnosno, samo je promenjen filterski uložak kod filtera stepena filtracije $40\ \mu\text{m}$. U skladu sa tim, i dobijeni rezultati su slični rezultatima filtera stepena filtracije $40\ \mu\text{m}$, s tim što je pad pritiska na filterima stepena filtracije $5\ \mu\text{m}$ veći nego kod filtera stepena filtracije $40\ \mu\text{m}$, što je i bilo za očekivati, budući da vazduh pod pritiskom prolazi kroz filterski uložak gušće strukture.

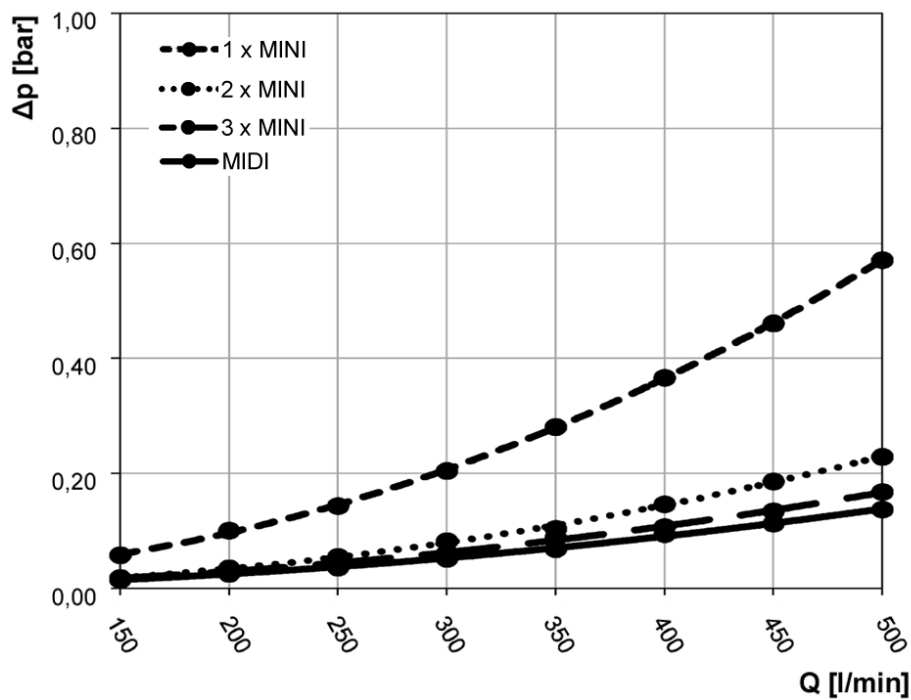
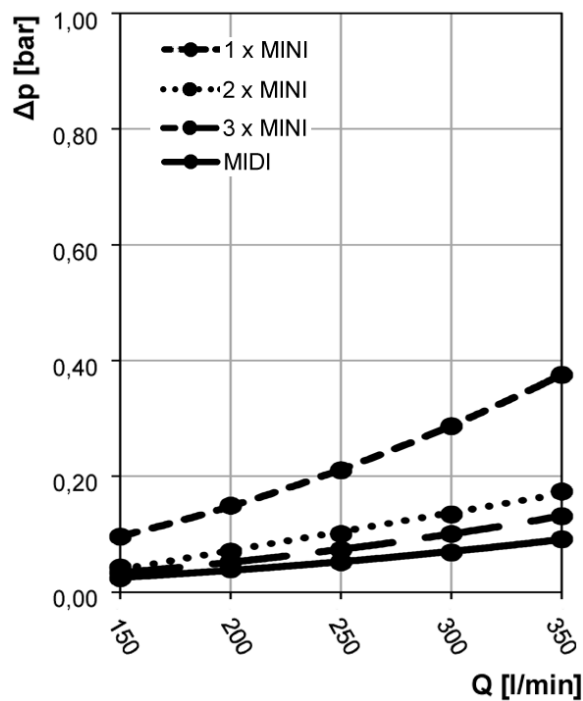
Na slici 30 su prikazani dobijeni rezultati za ispitivane kombinacije filtera, stepena filtracije $1\ \mu\text{m}$. Pad pritiska je predstavljen u zavisnosti od protoka vazduha pod pritiskom u intervalu 150 - 500 Nl/min (maksimalan protok ove vrste filtera definisan je na 500 Nl/min od strane proizvođača), a sve to je predstavljeno za vrednost radnog pritiska od 6 bar.

Za razliku od prethodne vrste filtera (čestični) u ovom delu eksperimenta korišćeni su koalescentni filteri, te su i dobijeni rezultati, u smislu međusobnih relacija trendova pada pritiska, drugačiji. Naime, trend smanjenja pada pritiska paralelnim dodavanjem filtera niskog protoka na instalaciju je i dalje uočljiv, ali se trend pada pritiska na filteru srednjeg protoka nalazi ispod trenda pada pritiska na tri paralelno postavljena filtera niskog protoka.

Na slici 31 su prikazani dobijeni rezultati za ispitivane kombinacije filtera, stepena filtracije $0,01\ \mu\text{m}$. Pad pritiska je predstavljen u zavisnosti od protoka vazduha pod pritiskom u intervalu 150 - 350 Nl/min (maksimalan protok ove vrste filtera definisan je na 350 Nl/min od strane proizvođača), a sve to je predstavljeno za vrednost radnog pritiska od 6 bar.

I ovi filteri spadaju u grupu koalescentnih filtera, te i dobijeni rezultati, u smislu međusobnih relacija trendova pada pritiska, odgovaraju rezultatima filtera stepena filtracije $1\ \mu\text{m}$, a drugačiji su od rezultata dobijenih ispitivanjem čestičnih filtera (40 i $5\ \mu\text{m}$).

Slika 28. Pad pritiska na čestičnim filterima, stepena filtracije 40 μm , pri pritisku od 6 barSlika 29. Pad pritiska na čestičnim filterima, stepena filtracije 5 μm , pri pritisku od 6 bar

Slika 30. Pad pritiska na koalescentnim filterima, stepena filtracije 1 μm , pri pritisku od 6 barSlika 31. Pad pritiska na koalescentnim filterima, stepena filtracije 0,01 μm , pri pritisku od 6 bar

3.3 Eksperiment II: Kvalitet vazduha na različito povezanim filterima

Drugi deo eksperimentalnih istraživanja u okviru ove disertacije odnosi se na utvrđivanje ostvarenog kvaliteta vazduha pod pritiskom za svaku od kombinacija broja i veličine filtera, odnosno za jedan filter niskog protoka (MINI), za dva, odnosno tri paralelno postavljena filtera niskog protoka (2xMINI i 3xMINI), i za jedan filter srednjeg protoka (MIDI), i to za sve navedene stepene filtracije 40, 5, 1 i 0,01 μm , što je i predstavljeno na slici 32.

PARAMETAR	
Kombinacija filtera	MIDI / MINI / 2 X MINI / 3 X MINI
Stepen filtracije [μm]	40 / 5 / 1 / 0,01 μm

Slika 32. Shema promena parametara testiranja pri merenju kvaliteta vazduha

U poglavlju 2.2.4 navedene su tipične lokacije u sistemima vazduha pod pritiskom na kojima se vrši merenje kvaliteta vazduha, a u skladu sa standardom ISO 8573. U okviru ove disertacije, utvrđivanje kvaliteta vazduha pod pritiskom vršeno je na mestima upotrebe vazduha, odnosno na samom kraju sistema vazduha pod pritiskom. Vazduh je na tim lokacijama filtriran do zahtevanog nivoa kvaliteta i u stanju kada je spreman za upotrebu.

Prema ISO 8573, merenje kvaliteta vazduha pod pritiskom na poslednjoj lokaciji u sistemu, odnosno na samom mestu upotrebe, vrši se pri temperaturi vazduha pod pritiskom od 20 do 45°C i radnom pritisku od 5 do 10 bar. Prilikom izvođenja ovog dela eksperimentalnog istraživanja temperatura vazduha pod pritiskom bila je 23°C, a radni pritisak 6 bar.

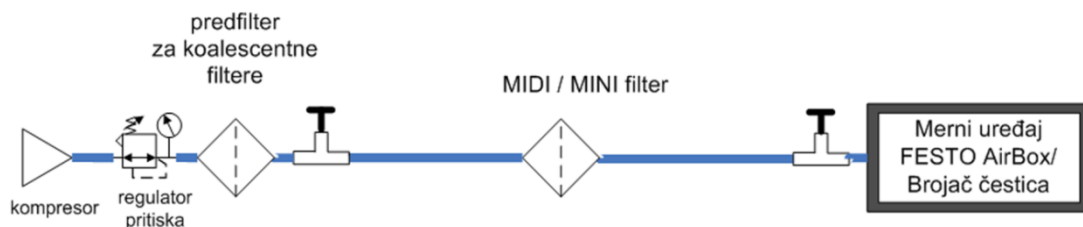
3.3.1 Postavka eksperimenta

Za razliku od merenja pada pritiska na filterima, prilikom merenja kvaliteta vazduha pod pritiskom, merni uređaj AirBox se postavlja nakon filtera, kako bi se izmerila koncentracija ulja i vode. Takođe, na izlaz filtera vazduha povezuje se i brojač čestica kako bi se utvrdila koncentracija čvrstih čestica u vazduhu nakon filtracije.

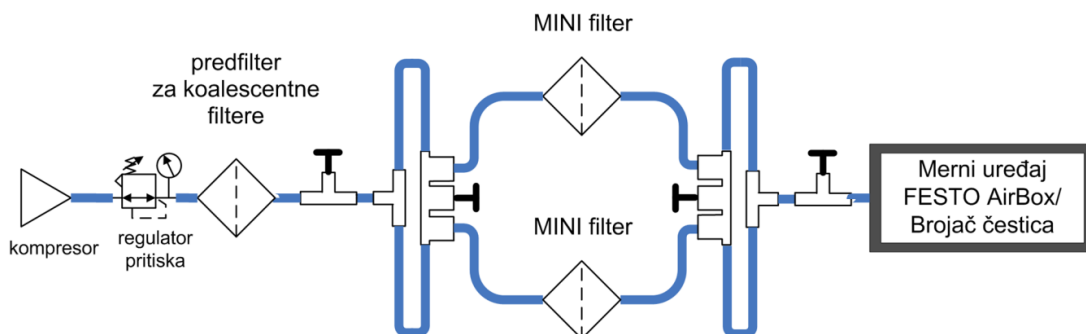
Sheme povezivanja potrebne opreme za izvođenje merenja kvaliteta vazduha pod pritiskom predstavljene su na slikama 33, 34 i 35.

Bitno je napomenuti da se prilikom testiranja čestičnih filtera (stepen filtracije 40 i 5 μm) filteri direktno povezuju na sistem za distribuciju vazduha pod pritiskom, tačnije postavljaju se na cevovod odmah posle kompresora. Za razliku od toga, koalescentne filtere (stepen filtracije 1 i 0,01 μm) nije moguće povezati direktno na cevovod posle kompresora, već je neophodno izvršiti prefiltraciju primenom čestičnog filtera (filterom

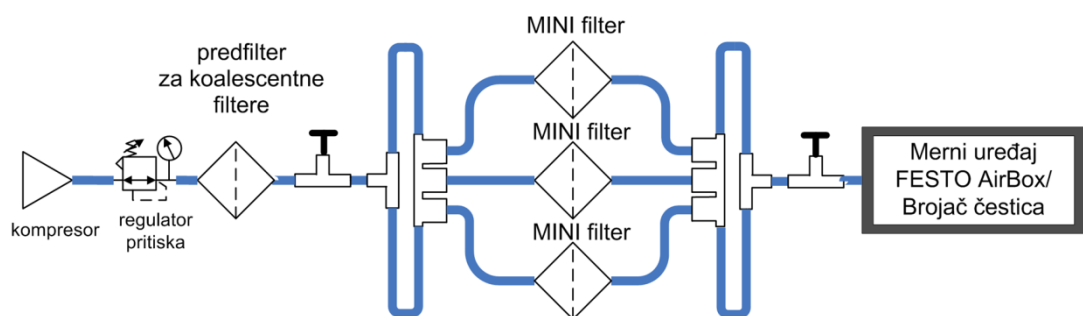
stepena filtracije 5 μm) (Festo, 2013). Ovo je neophodno uraditi kako ne bi došlo do prebrzog zaprljanja filterskog uloška i velikog pada pritiska u sistemu. U određenim slučajevima moguća je i destrukcija filterskog uloška i propuštanje nečistoća u sistem vazduha pod pritiskom.



Slika 33. Shema povezivanja opreme pri merenju kvaliteta vazduha na jednom filteru srednjeg/niskog protoka



Slika 34. Shema povezivanja opreme pri merenju kvaliteta vazduha na dva paralelno vezana filtera niskog protoka



Slika 35. Shema povezivanja opreme pri merenju kvaliteta vazduha na tri paralelno vezana filtera niskog protoka

Budući da je za utvrđivanje količine ulja u vazduhu pod pritiskom, prilikom ovog istraživanja korišćena metoda reakcionih cevčica, ISO 8573 propisuje dodatne uslove koji moraju biti ispunjeni prilikom uzimanja uzorka. Tačka rose vazduha pod pritiskom može biti između -65 i $+35^{\circ}\text{C}$. Prilikom uzorkovanja, radni pritisak, koji je u ovom slučaju bio 6

bar, se snižava na atmosferski u difuzoru, i temperatura vazduha može biti između 0 i +40°C. Protok vazduha nema uticaja na rezultate utvrđivanja kvaliteta vazduha pod pritiskom. Prilikom merenja čvrstih čestica u vazduhu pod pritiskom, u kombinaciji sa brojačem čestica se koristi i difuzor visokog pritiska.

3.3.2 Rezultati

Vrednosti izmerenog broja čvrstih čestica u vazduhu pod pritiskom, kao i količine vlage i ulja, za svaku od posmatranih kombinacija filtera, prikazani su u tabeli 24.

Tabela 24. Rezultati merenja kvaliteta vazduha pod pritiskom za posmatrane kombinacije filtera

Filter	Čvrste čestice broj čestica po m ³			Voda tačka rose	Ulje koncentracija	Klasa
	≤ 0,3 μm	≤ 0,5 μm	≤ 5,0 μm	[°C]	[mg/m ³]	
40 μm MINI	21.300.000	3.520.000	11.100	4,5	2,5	/ . 5. 4
40 μm 2xMINI	19.500.000	3.410.000	10.900	4,5	2,5	/ . 5. 4
40 μm 3xMINI	17.400.000	1.700.000	10.700	4	2,5	/ . 5. 4
40 μm MIDI	33.700.000	5.730.000	11.800	6	2,5	/ . 5. 4
5 μm MINI	16.800.000	2.610.000	1.070	4,5	2,5	/ . 5. 4
5 μm 2xMINI	15.600.000	2.320.000	1.060	4,5	2,5	/ . 5. 4
5 μm 3xMINI	13.500.000	2.180.000	1.020	4	2,5	/ . 5. 4
5 μm MIDI	27.400.000	3.740.000	1.130	5	2,5	/ . 5. 4
1 μm MINI	372.000	144.000	620	3	1	/ . 4. 3
1 μm 2xMINI	359.000	139.000	510	3	1	/ . 4. 3
1 μm 3xMINI	350.000	130.000	490	3	1	/ . 4. 3
1 μm MIDI	488.000	447.000	880	2,5	1	/ . 4. 3
0,01 μm MINI	7.230	4.810	0	-10	0,1	/ . 3. 2
0,01 μm 2xMINI	7.060	4.700	0	-10	0,1	/ . 3. 2
0,01 μm 3xMINI	6.580	4.050	0	-10	0,1	/ . 3. 2
0,01 μm MIDI	9.190	8.030	0	-9	0,1	/ . 3. 2

Prema rezultatima predstavljenim u tabeli 24, određivanje klase kvaliteta vazduha pod pritiskom iz aspekta tačke rose i prisustva ulja u vazduhu je jednoznačno, međutim određivanje klase kvaliteta vazduha pod pritiskom iz aspekta čvrstih čestica predstavlja problem, budući da se kanali korišćenog mernog uređaja ($\leq 0,3$; $\leq 0,5$ i $\leq 5,0$ μm) razlikuju od kanala merenja koje propisuje standard ISO 8573.1 (0,1 - 0,5; 0,5 - 1,0 i 1,0 - 5,0 μm).

Iz tog razloga, neophodno je rezultate merenja svesti na klase definisane standardom ISO 8573.1. Dobijeni rezultati merenja za kanale $\leq 0,3$ μm i $\leq 0,5$ μm se sabiraju kako bi

se mogli porediti sa brojem čestica u rasponu 0,1 – 0,5 μm iz standarda ISO 8573.1, što je i dato u tabeli 25.

Tabela 25. Svođenje dobijenih rezultata na vrednosti prema standardu ISO 8573.1

Filter	Dobijeni rezultati				Klasa
	broj čestica po m ³				
	$\leq 0,3 \mu\text{m}$	$\leq 0,5 \mu\text{m}$	$\Sigma \leq 0,5 \mu\text{m}$	$\leq 5,0 \mu\text{m}$	
40 μm MINI	21.300.000	3.520.000	24.820.000	11.100	5. / . /
40 μm 2xMINI	19.500.000	3.410.000	22.910.000	10.900	5. / . /
40 μm 3xMINI	17.400.000	1.700.000	19.100.000	10.700	5. / . /
40 μm MIDI	33.700.000	5.730.000	39.430.000	11.800	5. / . /
5 μm MINI	16.800.000	2.610.000	19.410.000	1.070	4. / . /
5 μm 2xMINI	15.600.000	2.320.000	17.920.000	1.060	4. / . /
5 μm 3xMINI	13.500.000	2.180.000	15.680.000	1.020	4. / . /
5 μm MIDI	27.400.000	3.740.000	31.140.000	1.130	4. / . /
1 μm MINI	372.000	144.000	516.000	620	3. / . /
1 μm 2xMINI	359.000	139.000	498.000	510	3. / . /
1 μm 3xMINI	350.000	130.000	480.000	490	3. / . /
1 μm MIDI	488.000	447.000	935.000	880	3. / . /
0,01 μm MINI	7.230	4.810	12.040	0	≤ 2 . / . /
0,01 μm 2xMINI	7.060	4.700	11.760	0	≤ 2 . / . /
0,01 μm 3xMINI	6.580	4.050	10.630	0	≤ 2 . / . /
0,01 μm MIDI	9.190	8.030	17.220	0	≤ 2 . / . /

Budući da korišćena merna oprema nema mogućnost detektovanja čestica veličine manje od 0,3 μm , ne može se sa sigurnošću utvrditi da li je vazduh nakon primenjenog stepena filtracije od 0,01 μm , klase 2 ili 1, jer se prema standardu ISO 8573.1 klase 1 i 2 određuju na osnovu koncentracije čestica u intervalu 0,1 - 0,5 μm .

Ukoliko se spoje rezultati merenja nečistoća vazduha pod pritiskom iz tabela 24 i 25, dobijaju se potpuni rezultati za klasifikaciju vazduha pod pritiskom za posmatrane kombinacije filtera, i oni su predstavljeni u tabeli 26. Takođe, u tabeli 26 je dato i poređenje sa klasama kvaliteta vazduha, prema standardu ISO 8573.1, koje se realizuju primenom korišćenih filtera, deklariranih od strane proizvođača (Festo, 2013).

Tabela 26. Utvrđene klase kvaliteta vazduha pod pritiskom za posmatrane kombinacije filtera i poređenje sa preporukama proizvođača

	Filter	Klasa	Preporuka proizvođača
predfiltracija čestičnim filterom 5 μm	40 μm MINI		
	40 μm 2xMINI	5. 5. 4	7. 4. 4
	40 μm 3xMINI		
	40 μm MIDI		
	5 μm MINI		
	5 μm 2xMINI	4. 5. 4	6. 4. 4
	5 μm 3xMINI		
	5 μm MIDI		
	1 μm MINI		
	1 μm 2xMINI	3. 4. 3	5. 4. 3
	1 μm 3xMINI		
	1 μm MIDI		
	0,01 μm MINI		
	0,01 μm 2xMINI	$\leq 2.$ 3. 2	1. 4. 2
0,01 μm 3xMINI			
0,01 μm MIDI			

Kao što se može primetiti, postoji određeno odstupanje eksperimentalno utvrđenih klasa kvaliteta vazduha pod pritiskom na testiranim filterima od klasa kvaliteta koje deklariše proizvođač opreme. U tri od četiri ispitana stepena filtracije odstupanje se javlja u koncentraciji čvrstih čestica. Tačnije, kod filtera stepena filtracije 40, 5 i 1 μm , zabeležena je koncentracija čestica za dve klase bolja nego što to proizvođač navodi. Ovo se može objasniti činjenicom da je testiranje filtera rađeno u laboratorijskim uslovima koji se znatno razlikuju od realnih industrijskih uslova u kojima se koriste filteri vazduha pod pritiskom.

U slučaju filtera stepena filtracije 0,01 μm , zbog ograničenja korišćene opreme, ne može se precizno reći da li je klasa vazduha 1 ili 2, ali je sasvim sigurno da pripada jednoj od ove dve klase. Odstupanja se javljaju i kod količine vlage u vazduhu pod pritiskom. Međutim, ako se malo detaljnije pogledaju dobijeni rezultati, može se videti da je tačka rose kod ovih filtera -10, odnosno -9°C. Klasa 3 vazduha pod pritiskom se definiše kao tačka rose $\leq -20^\circ\text{C}$, a klasa 4 kao tačka rose $\leq +3^\circ\text{C}$. Utvrđena tačka rose određuje kvalitet vazduha pod pritiskom tako da je značajnije bolji od klase 4, ali nedovoljno da se svrsta u klasu 3.

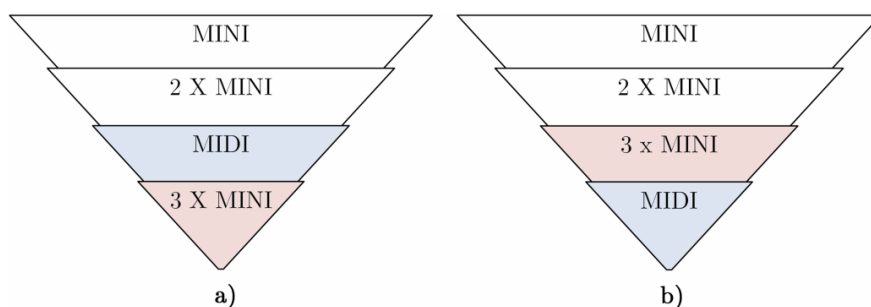
3.4 Diskusija

Na osnovu rezultata predstavljenih u prethodnom poglavlju, eksperimentalno su potvrđene hipoteze postavljene u poglavlju 1.4. Takođe, jasno su uočljive činjenice da se sa povećanjem radnog pritiska, a pri konstantnom protoku vazduha, smanjuje pad pritiska koji se javlja na filterima. Takođe, povećavanjem protoka, uz održanje konstantnog radnog pritiska, povećava se i pad pritiska na filterima (Marshall, 2012). Na filterima „gušće“ filtracije, odnosno na filterima većeg stepena filtracije, javlja se i veći pad pritiska.

Dokazano je da postoji veza između načina povezivanja filtera na vodove i pada pritiska, čime je potvrđena hipoteza H1 definisana u poglavlju 1.4. Odnosno, iz aspekta pada pritiska u sistemu za distribuciju vazduha pod pritiskom, nije svejedno da li je na cevovod postavljen jedan filter srednjeg protoka (MIDI) ili dva, odnosno tri paralelno vezana filtera niskog protoka (MINI). Ukoliko se pogledaju dijagrami dati na slikama 28 - 31, može se jasno uočiti da se krive pada pritiska razlikuju za različite vrste i kombinacije filtera.

Ukoliko se, ilustracije radi, pogleda dijagram eksperimentalno utvrđenih vrednosti pada pritiska za stepen filtracije $40\ \mu\text{m}$ i vrednost radnog pritiska 6 bar (slika 28), može se uočiti sledeće: uz konstantan protok, najveći pad pritiska se uočava na filteru niskog protoka (MINI), zatim na dva paralelno postavljena filtera niskog protoka (2xMINI), potom na filteru srednjeg protoka (MIDI), dok je najmanji pad pritiska obezbeđen primenom tri paralelno postavljena filtera niskog protoka (3xMINI), što je i prikazano na slici 36a. Ovo je moguće porediti samo ako je obezbeđena vrednost protoka potrebna sistemu, tj. svi filteri su u stanju da obezbede odgovarajući protok. Ovakav raspored pada pritiska uočljiv je za stepene filtracije 40 i $5\ \mu\text{m}$, odnosno za čestične filtere.

Kod koalescentnih filtera, odnosno za stepene filtracije 1 i $0,01\ \mu\text{m}$, situacija je malo drugačija, kao što se može videti na slici 36b. Nakon najvećeg pada pritiska na filteru niskog protoka (MINI) i dva paralelno postavljena filtera niskog protoka (2xMINI), nalazi se pad pritiska na tri paralelno postavljena filtera niskog protoka (3xMINI), dok je najmanji pad pritiska na filteru srednjeg protoka (MIDI).



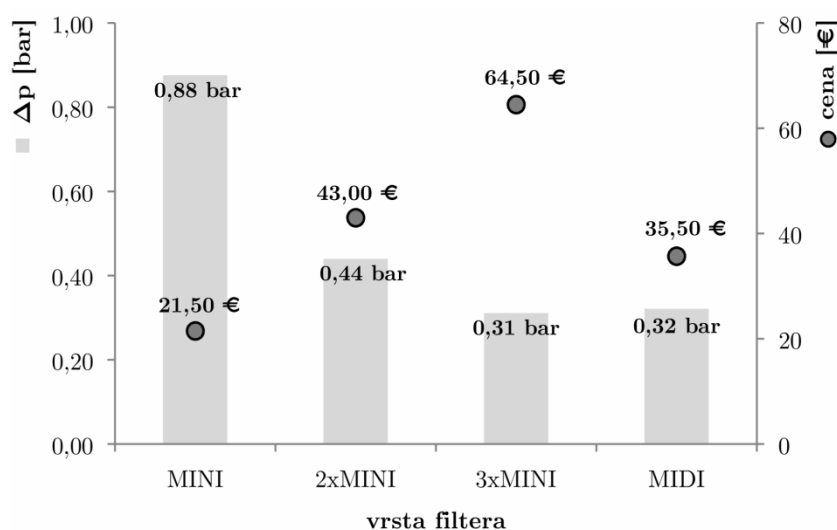
Slika 36. Poređenje vrednosti pada pritiska za različite kombinacije filtera
a) čestični filteri, b) koalescentni filteri

Tradicionalan način izbora filtera vazduha pod pritiskom podrazumeva najpre utvrđivanje potrošnje vazduha pod pritiskom. Nakon utvrđenog protoka vazduha koji je potrebno obezbediti, projektanti biraju prvi veći odgovarajući filter po protoku, iz kataloga proizvođača. I time se postupak izbora filtera za određenu aplikaciju završava. Na konkretnom primeru to bi izgledalo ovako: za protok od 600 Nl/min, projektanti biraju filter nominalnog protoka 1.000 Nl/min, koji spada u grupu filtera niskog protoka (MINI), i ugrađuju ga u sistem. Time se zadatak izbora filtera vazduha pod pritiskom završava.

Međutim, ovakav pristup izboru filtera ne garantuje i energetske efikasno funkcionisanje sistema vazduha pod pritiskom. Celokupan problem treba posmatrati iz aspekta održive proizvodnje, odnosno, koliki je pad pritiska koji se javlja na filteru i kako to utiče na ukupne karakteristike sistema. Potrebno je razmotriti dodatne opcije koje je moguće primeniti u posmatranom slučaju. Osim jednog filtera niskog protoka, moguće je postaviti dva ili tri paralelno vezana filtera niskog protoka. Takođe je moguće i postaviti filter srednjeg protoka, čime bi sistem bio predimenzionisan, ali bi i dalje ispravno funkcionisao.

3.4.1 Čestični filteri

Na osnovu eksperimentalnih rezultata, može se uočiti da se primenom samo jednog čestičnog filtera niskog protoka izaziva najveći pad pritiska. Pad pritiska na ovom filteru (MINI), stepena filtracije 40 μm , pri radnom pritisku od 6 bar i vrednosti protoka 600 Nl/min, iznosi 0,88 bar. Postavljanjem dva paralelno vezana filtera niskog protoka (2xMINI), umesto jednog filtera niskog protoka, pad pritiska se smanjuje za 50% i iznosi 0,44 bar. Dodavanjem još jednog filtera niskog protoka u paralelnu vezu (3xMINI), pad pritiska se smanjuje za dodatnih 30%, odnosno oko 65% u odnosu na prvobitan pad pritiska, i iznosi 0,31 bar. Ukoliko bi bio postavljen filter srednjeg protoka (MIDI), pad pritiska bi bio 0,32 bar, odnosno neznatno veći od pada pritiska na tri paralelno postavljena filtera niskog protoka (3xMINI), slika 37.



Slika 37. Pad pritiska, pri pritisku od 6 bar i protoku 600 Nl/min, i cene čestičnih filtera

Prilikom upotrebe filtera vazduha pod pritiskom, osim troška ugradnje, veoma su bitni i troškovi eksploatacije, budući da se filterski uložak mora redovno menjati. Na slici 37, pored pada pritiska koji se javlja na određenim filterima, može se videti i ukupna cena instaliranih filtera. Kao što se može primetiti, najniža cena je ukoliko se u sistem distribucije vazduha pod pritiskom ugradi jedan filter niskog protoka (MINI). Međutim, kao što je već rečeno, ovakav sistem prouzrokuje i najveći pad pritiska, te sa stanovišta energetske efikasnosti i održivosti proizvodnje nije preporučljiv. Sa druge strane, najmanji pad pritiska javlja se na tri paralelno postavljena filtera niskog protoka (3xMINI). Međutim, njihova cena je daleko najveća.

U tabeli 27, dat je pregled troškova instalacije i eksploatacije tokom životnog ciklusa filtera, u trajanju od 10 godina, za sve četiri varijante vrste i rasporeda čestičnih filtera, za koje je i vršeno merenje pada pritiska.

Troškovi instalacije obuhvataju cenu samog filtera, priključaka koji se postavljaju na filter, creva kojim se filter povezuje na distributivnu mrežu i troškove radnika potrebne za postavljanje samog filtera. U slučaju više paralelno povezanih filtera, uračunate su i cene odgovarajućih račvi i dodatnih creva, što je neophodno kako bi se ostvarile paralelne grane.

Troškovi eksploatacije tokom životnog ciklusa podrazumevaju zamenu filterskog uložka, koja se vrši na svakih 6 meseci, i troškove radnika pri zameni filterskih uložaka.

Tabela 27. Troškovi instalacije i eksploatacije varijanti čestičnih filtera tokom životnog ciklusa

	Vrste i raspored filtera			
	MINI	2xMINI	3xMINI	MIDI
filter	21,50	2x21,50	3x21,50	35,50
priključci	2x1,80	4x1,80	6x1,80	2x2,00
crevo	0,45	2x0,45	3x0,45	0,45
račva	-	2x5,40	2x6,00	-
troškovi radnika	2,50	2x2,50	3x2,5	2,50
Troškovi instalacije [€]	28,05	66,90	96,15	42,45
Eksploatacija u 1. godini	5,50	11,00	16,50	8,00
filterski uložak (menja se na 6 meseci, prvi se isporučuje sa filterom)	4,50	2x4,50	3x4,50	7,00
troškovi zamene	1,00	2x1,00	3x1,00	1,00
Eksploatacija 2-10. godine	9x11,00	9x22,00	9x33,00	9x16,00
filterski uložak (menja se na 6 meseci)	2x4,50	4x4,50	6x4,50	2x7,00
troškovi zamene	2x1,00	4x1,00	6x1,00	2x1,00
Troškovi eksploatacije [€]	104,50	209,00	313,50	152,00
Ukupni troškovi [€]	132,55	275,90	409,65	194,45

Kako bi utvrdili koja varijanta filtera je optimalna, najbolje je izvršiti projekciju predstavljenih rezultata na realan sistem vazduha pod pritiskom. Kao primer uzet je sistem vazduha pod pritiskom, čije potrebe iznose 600 Nl/min. Sistem radi 240 dan/god u tri smene dnevno. Prema ovim parametrima, ukupne potrebe sistema iznose 207.360 Nm³ vazduha pod pritiskom godišnje, kako je dobijeno na osnovu jednačine (1):

$$Q = 600 \frac{\text{Nl}}{\text{min}} \times 3 \frac{\text{smena}}{\text{dan}} \times 8 \frac{\text{h}}{\text{smena}} \times 60 \frac{\text{min}}{\text{h}} \times 240 \frac{\text{dan}}{\text{god}} =$$

$$= 207.360.000 \frac{\text{Nl}}{\text{god}} = 207.360 \frac{\text{Nm}^3}{\text{god}} \quad (1)$$

Uz cenu od 0,02 €/Nm³ vazduha pod pritiskom, dobijaju se godišnji troškovi proizvodnje vazduha pod pritiskom u vrednosti od 4.147,00 €, jednačina (2):

$$T_{\text{vpp}} = 207.360 \frac{\text{Nm}^3}{\text{god}} \times 0,02 \frac{\text{€}}{\text{Nm}^3} = 4.147,00 \frac{\text{€}}{\text{god}} \quad (2)$$

Kao što je već rečeno, ugradnjom dodatnog filtera za vazduh pod pritiskom, na sistem sa jednim filterom, pad pritiska će se prepoloviti, odnosno iznosiće 0,44 bar. Ako se uzme u obzir da povećanje pritiska u sistemu za 1 bar iziskuje dodatnih 7% električne energije (Scales and McCulloch, 2010), onda smanjenje pada pritiska za 0,44 bar omogućuje uštedu od 3,08%, odnosno 128 €/god, kao što se može videti u tabeli 28.

Uštede se posmatraju na osnovu smanjenja pada pritiska, koji se ostvaruje upotrebom razmatranih varijanti filtera umesto tradicionalno jednog filtera niskog protoka. Princip proračuna uštede, primenjen je za sve razmatrane varijante filtera i rezultati su dati u tabeli 28.

Tabela 28. Godišnje uštede za razmatrane varijante čestičnih filtera u toku jedne godine

	Vrste i raspored filtera		
	2xMINI	3xMINI	MIDI
potrebe sistema [Nl/min]	600	600	600
godišnja potrošnja [Nm ³ /god]	207.360	207.360	207.360
godišnji troškovi [€/god]	4.147,00	4.147,00	4.147,00
smanjenje pada pritiska [bar]	0,44	0,57	0,56
ušteda za 1 bar smanjenja pritiska	7%	7%	7%
ušteda na primeru [%]	3,08	3,99	3,92
godišnja ušteda [€/god]	128,00	165,50	162,50

Instalacija dva paralelno postavljena čestična filtera niskog protoka, umesto jednog, iziskuje troškove koji iznose dodatnih 38,85 €, što predstavlja razliku troškova instalacije dva filtera u odnosu na troškove instalacije jednog filtera i koji su dati u tabeli 27. Uz

uštete predstavljene u tabeli 28, ova investicija bi se isplatila za 3,5 meseca, ako se u obzir uzmu samo troškovi instalacije. Ugradnja tri paralelno vezana čestična filtera niskog protoka košta 68,10 € više nego instalacija jednog čestičnog filtera niskog protoka, pa bi se ova investicija isplatila za nešto više od šest meseci. Instalacija filtera srednjeg, umesto filtera niskog protoka, iziskuje dodatnih 14,40 € i ova ugradnja bi se isplatila za 1,5 mesec.

Na osnovu izračunatih troškova instalacije i eksploatacije ispitivanih varijanti filtera, moguće je odrediti uštete koje se ostvaruju tokom celog životnog ciklusa filtera, primenom dva i tri paralelno postavljena filtera niskog protoka, kao i primenom filtera srednjeg protoka, umesto tradicionalno odabranog jednog filtera na osnovu potrebnog protoka.

Tabela 29. Troškovi životnog ciklusa za 10 godina, za sve varijante čestičnih filtera

	Vrste i raspored filtera			
	MINI	2xMINI	3xMINI	MIDI
troškovi instalacije i eksploatacije [€]	132,55	275,90	409,65	152,00
uštete ostvarene za 10 godina [€]	-	-1.280,00	-1.655,00	-1.625,00
ukupni troškovi [€]	132,55	-1.004,10	-1.245,00	-1.473,00

Upotrebom čestičnog filtera odabranog na tradicionalni način dobijaju se ukupni troškovi od 132,55 € za ceo životni vek filtera. Ukoliko se ovakav filter zameni sa dva ista takva, paralelno postavljena filtera, ostvaruje se ušteta, računajući troškove tokom životnog ciklusa za 10 godina, od 1.004,10 €. Primenom tri paralelno postavljena filtera ostvaruje se ušteta od 1.245,00 €. Predimenzionisanjem sistema, odnosno upotrebom većeg tipa filtera nego što je to potrebno, ostvaruje se ušteta od 1.473,00 €. Prilikom predimenzionisanja sistema potrebno je voditi računa, da opseg protoka filtera zadovoljava postavljene zahteve, odnosno da minimalan protok na kojem filter može da radi, bude manji od protoka u sistemu vazduha pod pritiskom.

Svi proračuni rađeni su za testirane vrste filtera jednog proizvođača, koji je lider u oblasti. Povratak investicije i uštete koje se ostvaruju mogu varirati od proizvođača do proizvođača pneumatske opreme i od karakteristika primene (uslovi eksploatacije, radni pritisak u sistemu, potreban protok, itd.), te je neophodno za svaku konkretnu aplikaciju izvršiti analizu isplativosti po predloženom modelu. Osim cenovnog aspekta, na izbor implementacije neke od predloženih varijanti, mogu da utiču i raspoloživost prostora, mogućnosti ugradnje dodatnih filtera, itd.

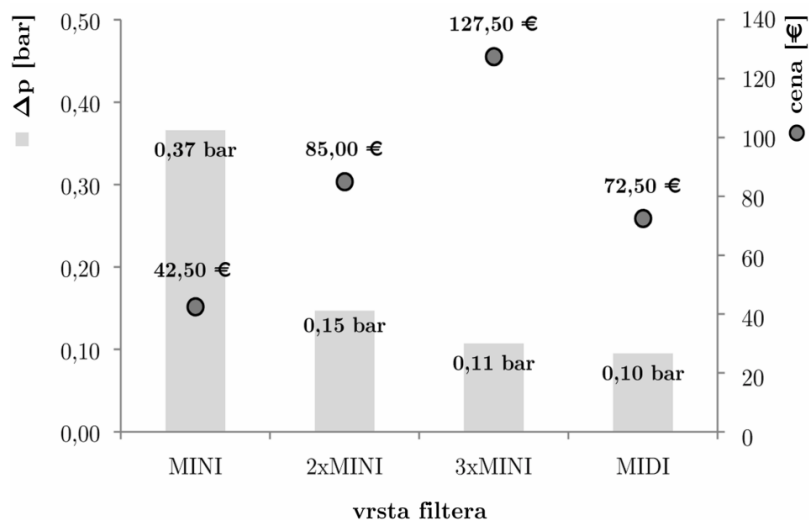
3.4.2 Koalescentni filteri

Na osnovu rezultata merenja, može se videti da je situacija kod koalescentnih filtera malo drugačija nego što je to slučaj kod čestičnih filtera, u smislu da se najmanji pad pritiska javlja na filteru srednjeg protoka (MIDI), umesto na tri paralelno vezana filtera niskog

protoka (3xMINI). Međutim, ukoliko se model proračuna troškova razvijen za čestične filtere, primeni i na koalescentne filtere, dobija se sasvim drugačija slika.

Kao što je već rečeno, tradicionalan način izbora filtera podrazumeva izbor prvog većeg odgovarajućeg filtera po protoku, iz kataloga proizvođača. U slučaju koalescentnih filtera biće posmatran sistem vazduha pod pritiskom, čije su potrebe 400 Nl/min. Tradicionalnim postupkom, projektanti biraju filter čiji je nominalni protok 500 Nl/min. Međutim, potrebno je utvrditi da li postoji prihvatljivije rešenje iz aspekta održive proizvodnje.

Prema rezultatima merenja, za radni pritisak od 6 bar i protok od 400 Nl/min, može se uočiti da primena jednog koalescentnog filtera niskog protoka (MINI), stepena filtracije 1 μm , izaziva najveći pad pritiska i iznosi 0,37 bar. Postavljanjem dva paralelno vezana filtera niskog protoka (2xMINI), umesto jednog filtera niskog protoka, pad pritiska se smanjuje za 60% i iznosi 0,15 bar. Dodavanjem još jednog filtera niskog protoka u paralelnu vezu (3xMINI), pad pritiska se smanjuje za dodatnih 27%, odnosno oko 70% u odnosu na prvobitan pad pritiska, i iznosi 0,11 bar. Ukoliko bi bio postavljen filter srednjeg protoka (MIDI), pad pritiska bi bio 0,10 bar, odnosno neznatno manji od pada pritiska na tri paralelno postavljena filtera niskog protoka (3xMINI), što se može i videti na slici 38.



Slika 38. Pad pritiska, pri pritisku od 6 bar i protoku 400 Nl/min, i cene koalescentnih filtera

Analogno proračunu troškova instalacije i eksploatacije čestičnih filtera, u tabeli 30, dat je pregled troškova instalacije i eksploatacije za sve četiri varijante koalescentnih filtera, za koje je i vršeno merenje pada pritiska.

Tabela 30. Troškovi instalacije i eksploatacije varijanti koalescentnih filtera tokom životnog ciklusa

	Vrste i raspored filtera			
	MINI	2xMINI	3xMINI	MIDI
filter	42,50	2x42,50	3x42,50	72,50
priključci	2x1,80	4x1,80	6x1,80	2x2,00
crevo	0,45	2x0,45	3x0,45	0,45
račva	-	2x5,40	2x6,00	-
troškovi rada	2,50	2x2,50	3x2,5	2,50
Troškovi instalacije [€]	49,05	108,90	159,15	79,45
Eksploatacija u 1. godini	28,50	57,00	85,50	44,50
filterski uložak (menja se na 6 meseci, prvi se isporučuje sa filterom)	27,50	2x27,50	3x27,50	43,50
troškovi zamene	1,00	2x1,00	3x1,00	1,00
Eksploatacija 2-10. godine	9x57,00	9x114,00	9x171,00	9x89,00
filterski uložak (menja se na 6 meseci)	2x27,50	4x27,50	6x27,50	2x43,50
troškovi zamene	2x1,00	4x1,00	6x1,00	2x1,00
Troškovi eksploatacije [€]	541,50	1.083,00	1.624,50	845,50
Ukupni troškovi [€]	590,55	1.191,90	1.783,65	924,95

Kako bi utvrdili koja varijanta filtera je optimalna, dobijeni rezultati se projektuju na realan sistem vazduha pod pritiskom, čije su potrebe za vazduhom pod pritiskom 400 Nl/min i koji radi 240 dan/god u tri smene dnevno. Ukupne potrebe tog sistema iznose 138.240 Nm³ vazduha pod pritiskom godišnje, kako je dobijeno na osnovu jednačine (3):

$$\begin{aligned}
 Q &= 400 \frac{\text{Nl}}{\text{min}} \times 3 \frac{\text{smena}}{\text{dan}} \times 8 \frac{h}{\text{smena}} \times 60 \frac{\text{min}}{h} \times 240 \frac{\text{dan}}{\text{god}} = \\
 &= 138.240.000 \frac{\text{Nl}}{\text{god}} = 138.240 \frac{\text{Nm}^3}{\text{god}}
 \end{aligned} \tag{3}$$

Uz cenu vazduha pod pritiskom od 0,02 €/Nm³, dobijaju se godišnji troškovi u vrednosti od 2.764,80 €, jednačina (4):

$$T_{vpp} = 138.240 \frac{\text{Nm}^3}{\text{god}} \times 0,02 \frac{\text{€}}{\text{Nm}^3} = 2.764,80 \frac{\text{€}}{\text{god}} \tag{4}$$

Ukoliko se i ovde primeni pravilo da povećanje pritiska u sistemu za 1 bar iziskuje dodatnih 7% električne energije (Scales and McCulloch, 2010), onda smanjenje pada pritiska za 0,22 bar omogućuje uštedu od 1,54%, odnosno 42,60 €/god, kao što se može videti u

tabeli 31. Uštede se posmatraju na osnovu smanjenja pada pritiska, koji se ostvaruje upotrebom razmatranih varijanti filtera umesto tradicionalno jednog filtera niskog protoka.

Tabela 31. Godišnje uštede za sve varijante koalescentnih filtera

	Vrste i raspored filtera		
	2xMINI	3xMINI	MIDI
potrebe sistema [Nl/min]	400	400	400
godišnja potrošnja [Nm^3/god]	144.060	144.060	144.060
godišnji troškovi [€/god]	2.880,00	2.880,00	2.880,00
smanjenje pada pritiska [bar]	0,22	0,26	0,27
ušteda za 1 bar smanjenja pritiska	7%	7%	7%
ušteda na primeru [%]	1,54	1,82	1,89
godišnja ušteda [€/god]	42,60	50,32	52,25

Instalacija dva paralelno postavljena čestična filtera niskog protoka, umesto jednog filtera niskog protoka, iziskuje troškove koji iznose dodatnih 59,85 € (tabela 30). Uz uštede predstavljene u tabeli 31, ova investicija bi se isplatila za 15 meseci. Instalacija tri paralelno vezana filtera niskog protoka košta 110,10 € više nego instalacija jednog filtera niskog protoka, pa bi se ova investicija isplatila za nešto više od dve godine. Instalacija filtera srednjeg, umesto filtera niskog protoka, iziskuje dodatnih 30,40 € i ova ugradnja bi se isplatila za sedam meseci.

Sa ukupnim troškovima instalacije i eksploatacije filtera vazduha tokom celokupnog životnog veka filtera, koji se računaju za životni vek od 10 godina, i proračunatim godišnjim uštedama, moguće je izračunati uštede tokom posmatranog životnog ciklusa filtera, koje se ostvaruju primenom dva i tri paralelno postavljena filtera niskog protoka, kao i primenom filtera srednjeg protoka, umesto tradicionalno jednog filtera niskog protoka.

Tabela 32. Troškovi životnog ciklusa za 10 godina, za sve varijante koalescentnih filtera

	Vrste i raspored filtera			
	MINI	2xMINI	3xMINI	MIDI
troškovi instalacije i eksploatacije [€]	590,55	1.191,90	1.783,65	924,95
uštede ostvarene za 10 godina [€]	-	-426,00	-503,20	-522,50
ukupni troškovi [€]	590,55	765,90	1.280,45	402,45

Situacija kod koalescentnih filtera je značajno drugačija budući da su cene, ali i odnos cena samih filtera i filterskih uložaka prilično različite nego što je to slučaj kod čestičnih filtera.

Upotrebom tradicionalno odabranog koalescentnog filtera dobijaju se ukupni troškovi od 590,55 € za ceo životni vek filtera. Ukoliko se ovakav filter zameni sa dva ista takva,

paralelno postavljena filtera, troškovi se povećavaju na 765,90 €. Primenom tri paralelno postavljena filtera troškovi se povećavaju za više od dva puta i iznose 1.280,00 €. Jedino se predimenzionisanjem sistema, odnosno upotrebom većeg tipa filtera nego što je to potrebno, ostvaruju manji troškovi, i oni iznose 402,45 €.

Na kraju se postavlja pitanje da li je odstupanje od tradicionalnog načina izbora filtera, bez obzira na vrstu filtera, isplativo. Osim tehnoeekonomske analize, u ovakvim situacijama potrebno je uvesti dodatni kriterijum koji će pomoći pri donošenju konačne odluke o korišćenju filtera.

3.4.3 Dodatni kriterijum za vrednovanje mogućih rešenja

Kao dodatni kriterijum, može se uvesti pouzdanost rada proizvodnog sistema koji se snabdeva filtriranim vazduhom pod pritiskom. U slučaju jednog filtera, pouzdanost sistema jednaka je pouzdanosti tog filtera, jednačina (5). Odnosno, u slučaju otkazivanja filtera, došlo bi do neispravnog rada sistema (zaprljanja vazduha u sistemu za distribuciju vazduha pod pritiskom, niže od pozicije filtera i velikog pada pritiska) ili, u krajnjem slučaju, do prestanka funkcionisanja sistema. Troškovi prouzrokovani zastojećima sistema u mnogim industrijskim postrojenjima mogu biti izuzetno visoki.

$$R_s(t) = \prod_{i=1}^n R_i(t) \Rightarrow R_s(t) = R_i(t) \quad (5)$$

gde je:

$R_s(t)$ – pouzdanost rada sistema za distribuciju vazduha pod pritiskom,

$R_i(t)$ – pouzdanost rada filtera vazduha pod pritiskom.

U slučaju primene dva ili tri paralelno vezana filtera, do neispravnog rada sistema ili prestanka funkcionisanja sistema bi došlo jedino u slučaju otkazivanja oba ili sva tri filtera. Odnosno, pouzdanost rada sistema u ovom slučaju veća je od pouzdanosti rada najpouzdanijeg filtera, jednačina (6), (Ivanović et al., 2010).

$$R_s(t) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i(t)) \quad (6)$$

Iz aspekta pouzdanosti, prihvatljivija je opcija ugradnje dva ili tri paralelno vezana filtera nego jednog filtera vazduha pod pritiskom.

U realnim uslovima, na osnovu iskustvenih podataka o učestalosti otkaza filtera vazduha pod pritiskom, usled zaprljanosti, koje kompanije poseduju, i troškova zastoja proizvodnje prouzrokovanih tim otkazima, odluka o izboru varijante sa više filtera (dva ili tri paralelno vezana) zasnovana na kriterijumu povećanja pouzdanosti, postaje verovatnija.

Ako se, za primer, uzmu troškovi zastoja proizvodnje, prouzrokovani samo jednim otkazom jednog čestičnog filtera u toku posmatranog životnog ciklusa od 10 godina, u vrednosti od 1.000,00 €, može se primetiti da realizacija varijanti sa više paralelno

postavljenih filtera obezbeđuje veće uštede (tabela 33), istovremeno omogućavajući kontinuitet procesa proizvodnje.

Tabela 33. Troškovi životnog ciklusa za 10 godina, sa uračunatim troškovima otkaza jednog čestičnog filtera

	Vrste i raspored filtera			
	MINI	2xMINI	3xMINI	MIDI
troškovi instalacije i eksploatacije [€]	132,55	275,90	409,65	152,00
troškovi prouzrokovani otkazom filtera [€]	1.000,00	0,00	0,00	1.000,00
uštede ostvarene za 10 godina [€]	-	-1.280,00	-1.655,00	-1.625,00
ukupni troškovi [€]	1.132,55	-1.004,10	-1.245,00	-473,00

Prema troškovima životnog ciklusa za 10 godina, sa uračunatim troškovima otkaza jednog čestičnog filtera, iz tabele 33, može se zaključiti da upotreba jednog filtera, izabranog tradicionalnim pristupom, izaziva najveće troškove. Upotreba predimenzionisanog filtera obezbeđuje određene uštede u odnosu na prethodnu varijantu, dok primena dva paralelno povezana filtera obezbeđuje značajnije, a upotreba tri paralelno vezana filtera najznačajnije uštede.

Ukoliko se isti troškovi zastoja proizvodnje, prouzrokovani otkazom filtera, od 1.000,00 €, uračunaju u troškove životnog ciklusa koalescentnih filtera, može se doneti isti zaključak kao i u slučaju čestičnih filtera, a to je da realizacija varijanti sa više paralelno postavljenih filtera obezbeđuje najveće uštede (tabela 34).

Tako se može zaključiti da upotreba jednog filtera, izabranog tradicionalnim pristupom, kao i upotreba predimenzionisanog filtera izazivaju najveće troškove. Potom slede troškovi usled primene tri paralelno postavljena filtera, dok je upotreba dva paralelno postavljena filtera najpovoljnija.

Tabela 34. Troškovi životnog ciklusa za 10 godina, sa uračunatim troškovima otkaza jednog koalescentnog filtera

	Vrste i raspored filtera			
	MINI	2xMINI	3xMINI	MIDI
troškovi instalacije i eksploatacije [€]	590,55	1.191,90	1.783,65	924,95
troškovi prouzrokovani otkazom filtera [€]	1.000,00	0,00	0,00	1.000,00
uštede ostvarene za 10 godina [€]	-	-426,00	-503,20	-522,50
ukupni troškovi [€]	1.590,55	765,90	1.280,45	1.402,45

Kao što se može videti pad pritiska u sistemima vazduha pod pritiskom utiče na efikasnost rada sistema. Neki autori (Marshall, 2012), uprkos prethodnim analizama, smatraju kao dobro rešenje predimenzionisanje komponenti, odnosno instalacija komponenti u sistem, većeg kapaciteta nego što je to zaista potrebno.

Iz navedenih rezultata istraživanja, može se potvrditi postavljena hipoteza H2, odnosno odgovarajućom upotrebom određenog broja filtera i načinom njihovog povezivanja moguće je smanjiti pad pritiska u sistemu za distribuciju vazduha pod pritiskom.

Što se tiče rezultata eksperimentalnog istraživanja kvaliteta vazduha pod pritiskom, može se videti iz tabele 26 da su utvrđene klase kvaliteta vazduha pod pritiskom iste za isti stepen filtracije, bez obzira na broj, vrstu i način povezivanja filtera. Drugačije rečeno, bilo koja kombinacija filtera, u okviru jednog stepena filtracije, da se postavi u sistem za distribuciju vazduha pod pritiskom, biće obezbeđen podjednak kvalitet vazduha. Time se potvrđuje hipoteza H3, odnosno, utvrđeno je da je moguće odgovarajućom upotrebom određenog broja filtera i načinom njihovog povezivanja smanjiti pad pritiska u sistemu za distribuciju vazduha pod pritiskom, uz istovremeno obezbeđenje odgovarajućeg kvaliteta vazduha pod pritiskom.

Iz prethodnog teksta se može zaključiti da je pad pritiska na filterima vazduha pod pritiskom lako meriti. Umesto zamene filterskog uložka na svakih šest meseci, najbolje bi bilo kada bi se on menjao u skladu sa stvarnim stepenom njegove zaprljanosti, a koji se može utvrditi na osnovu pada pritiska (Dudić et al., 2012a; Šešlija et al., 2010; Šešlija, Ignjatović, Tarjan, et al., 2011). Smanjenjem pada pritiska povećava se energetska efikasnost sistema vazduha pod pritiskom, smanjuje se negativni uticaj na životnu sredinu, smanjenjem emisije CO₂, usled smanjenja potrošnje električne energije od strane kompresora. Na taj način povećava se i održivost proizvodnje. U skladu sa prethodnim tvrdnjama, kao jedan od indikatora održivosti proizvodnih procesa, može se usvojiti pad pritiska na filterima vazduha pod pritiskom.

Pad pritiska na filterima vazduha pod pritiskom može se svrstati u grupu indikatora životne sredine (*EPI - Environmental Performance Indicators*), podgrupe smanjenje potrošnje energije (EN6), budući da se sposobnost organizacije da efikasno koristi energiju ogleda u smanjenju njene potrošnje (DuPont, 2013; GRI, 2013a, 2013b; IAEA, 2005).

Ova veličina je kvantitativno merljiva i jasno opisuje energetska efikasnost posmatranog filtera. Prema (Krajnc and Glavic, 2003; Veleva and Ellenbecker, 2001), prilikom definisanja pada pritiska na filteru vazduha pod pritiskom kao indikatora održivosti, treba pažljivo razmotriti sve njegove elemente: jedinicu merenja, način merenja, interval praćenja posmatrane veličine i u kojim objektima. U slučaju pada pritiska to podrazumeva mernu jedinicu u bar, može se registrovati diferencijalnim manometrom ili specijalnim uređajem (Šešlija et al., 2010; Šešlija et al., 2011), u unapred definisanom periodu, u tačno određenoj kompaniji ili pogonu. Takođe, pad pritiska je i uporediva veličina, odnosno može poslužiti za poređenje između kompanija (Veleva and Ellenbecker, 2001)

Uvrštavanje pada pritiska na filterima vazduha pod pritiskom u indikatore održivosti proizvodnje primenljivo je u svim industrijskim subjektima, naravno uz uslov da poseduju sisteme vazduha pod pritiskom, jer ne postoji opasnost da će se merenje ove veličine pokazati korisnim kod jednog, a nekorisnim kod nekog drugog industrijskog subjekta (Krajnc and Glavic, 2003).

Poglavlje 4

Upravljanje kondenzatom sistema vazduha pod pritiskom

Kondenzat nastaje kao posledica apsorpcije usisanih zagađivača iz atmosfere, zajedno sa atmosferskim vazduhom, od strane vodenih aerosola. Tako usisani zagađivači, sa ugljovodonicima iz ulja za podmazivanje kompresora i različitih čestica mikroprašine, formiraju zauljen i prljav kondenzat, koji se mora tretirati pre no što uđe u sistem otpadnih voda.

Kondenzat koji ne sadrži ulje podseća na destilovanu vodu, u smislu da se ponaša kao rastvarač i stoga lako upija mineralne supstance. Atmosferski vazduh sadrži velike količine kiselinskih ostataka koje dospevaju u atmosferu tokom sagorevanja fosilnih goriva. Kada se kondenzat zasiti ovim supstancama, pH vrednost kondenzata se može smanjiti na oko pH 4, što predstavlja kiselu sredinu. Poznato je da vrednost ispod pH 4,5 predstavlja kiselu i za živi svet otrovnu sredinu.

Iz tih razloga, veoma je važno pravilno upravljati otpadom koji predstavlja opasnost po životnu sredinu, a tu se može svrstati i kondenzat izdvojen iz sistema vazduha pod pritiskom. U razvijenim zemljama su na snazi propisi i zakoni koji imaju za cilj sprečavanje zagađenja životne sredine. Organizacije, korisnici vazduha pod pritiskom, se moraju uskladiti sa ekološkim propisima i lokalnim zakonodavstvom, pri čemu bi bilo poželjno da ispune i zahteve iskazane međunarodnim standardom ISO14001.

Četvrta faza istraživanja obuhvata upravljanje kondenzatom iz sistema vazduha pod pritiskom. Prvo je predstavljeno utvrđivanje sadržaja kondenzata, kako bi se utvrdile količine opasnih materija (ulja) u uzorkovanom kondenzatu iz sistema vazduha pod pritiskom na kojem je vršeno i sprovođenje eksperimentalnog istraživanja u fazama II i III.

Potom su date analize regulative Evropske unije (EU) i Sjedinjenih Američkih Država (SAD) iz oblasti upravljanja otpadnim uljima. Razlog tome je poređenje sa regulativom u Republici Srbiji i predlozima za njeno unapređenje.

Kreiran je detaljni algoritam klasifikacije otpada prema *Katalogu otpada* (Republika Srbija, 2010a), kako bi korisnici sistema vazduha pod pritiskom nedvosmisleno znali kako da upravljaju kondenzatom, nakon što ga izdvoje iz sistema vazduha pod pritiskom.

Potom je predložen algoritam upravljanja otpadnim uljima, sa svim specifičnim slučajevima. Algoritam je napravljen tako da je jednostavan i lak za upotrebu. Pored toga, sadrži i spisak svih trenutno važećih dokumenata na koje treba obratiti pažnju u procesu upravljanja otpadnim uljima iz sistema vazduha pod pritiskom.

4.1 Regulatorika EU u oblasti upravljanja otpadnim uljima

U zemljama Evropske unije godišnje se potroši oko 4.000.000 tona ulja, a polovina te količine završi kao otpad (European Commission, 2014). Evropska unija, nastoji da podigne svest i obaveže kompanije na primenu čiste proizvodnje (*Clean Production*), uspostavi standarde koji bi ograničili sadržaj opasnih materija u proizvodima, promovise ponovno korišćenje i reciklažu otpada, uklanjanje opasnih karakteristika otpada odgovarajućim tretmanom, itd.

Evropska unija je još 1975. godine donela *Direktivu o upravljanju otpadnim uljima 75/439/EEC* (Council of Europe, 1975). Ova *Direktiva* reguliše sakupljanje, tretman, skladištenje i odlaganje otpadnih ulja. Prema ovoj *Direktivi* u otpadna ulja se ubrajaju mineralna i industrijska ulja koja su postala nepodobna za upotrebu za koju su prvobitno namenjena, zatim motorna ulja i ulja menjača, mineralna ulja za podmazivanje, ulja za turbine i hidraulična ulja.

Prema odluci *2000/532/EC*, sav otpad se razvrstava prema definisanoj listi otpada. Postoji poseban odeljak namenjen otpadnim uljima, i sva otpadna ulja se smatraju opasnim otpadom (EPA, 2002).

Sve države članice su u obavezi da vrše informisanje i sprovode promotivne kampanje za pravilno prikupljanje i čuvanje otpadnih ulja. Države članice mogu primeniti i strože mere od onih definisanih u *Direktivi 75/439/EC*. Takođe, države članice moraju da, svake tri godine, podnose izveštaje o sprovođenju ove *Direktive*.

Postupanje otpadnim uljima obavlja se u skladu sa Direktivom Evropske komisije „*Waste Framework Directive 2008/98/EC (WFD)*“. Prema članu 4 – Hijerarhija otpada, ove *Direktive*, jedno od osnovnih načela jeste smanjenje nastanka otpadnih ulja u svim fazama životnog ciklusa proizvoda. Međutim, kada već nastanu, prema *Direktivi 2008/98/EC*, otpadna ulja treba da se prikupljaju i odlažu bez ikakvih štetnih posledica po čoveka i životnu sredinu, bez ikakvih neprijatnosti u vidu buke i mirisa, i bez ikakvog uticaja na seoska i mesta od posebnog interesa (član 13 – Zaštita zdravlja ljudi i životne sredine). Nakon prikupljanja ulja prioritet treba da bude njihova regeneracija i reciklaža. Ukoliko to nije moguće, treba razmotriti njihovo sagorevanje. Na poslednjem mestu je fizičko-hemijski tretman ili nadzirano skladištenje na deponijama otpada (Council of Europe, 2008).

Zabranjeno je ispuštanje otpadnih ulja u površinske vode, podzemne vode, drenažni sistem, priobalne vode ili u zemljište. Jedan litar otpadnog ulja može da zagadi 1.000.000 l vode. Zabranjeno je korišćenje otpadnih ulja koja sadrže više od 50 ppm polihlorovanih bifenila, kao goriva. Takođe, nije dozvoljeno ni mešanje otpadnih ulja koja sadrže

polihlorovane bifenile i terfenile (PCB i PCT) sa toksičnim i opasnim otpadima. Ulja koja sadrže PCB ili PCT, kao i toksičan i opasan otpad moraju, bez izuzetka, biti uništena.

Član 21 WFD, predviđa sprovođenje neophodnih mera pri upravljanju otpadnim uljema:

- otpadna ulja se sakupljaju i razvrstavaju, tamo gde je to tehnički izvodljivo. Prikupljanje, regeneracija i spaljivanje otpadnih ulja odvija se u registrovanim postrojenjima, čiji rad se periodično proverava, na takav način da nema negativnih posledica po životnu sredinu.
- otpadnim uljima se postupa u skladu sa članom 4 - Hijerarhija otpada i članom 13 - Zaštita životne sredine i zdravlja ljudi, gde se definiše upravljanje otpadom na takav način da ne izaziva rizik po atmosferu, vodene tokove, zemljište, biljni i životinjski svet.
- zabranjeno je mešanje otpadnih ulja različitih karakteristika, kao i otpadnih ulja i druge vrste otpada.

Transport otpadnih ulja je regulisan uredbom *Regulation 1013/2006/EC*. Prilikom transporta otpadnih ulja važno je organizovati i regulisati nadzor pošiljki otpada na način koji uzima u obzir potrebe očuvanja, zaštite i poboljšanja kvaliteta životne sredine i ljudskog zdravlja. Prema ovom dokumentu sva industrijska otpadna ulja se svrstavaju prema Listi otpada (Aneks V), klasifikaciji 13 – Otpadna ulja i otpad od tečnih goriva. Bilo kakav transport opasnog otpada unutar zemalja članica EU, mora biti praćen odgovarajućom dokumentacijom, koja može biti i u elektronskoj formi, i mora da sadrži odgovarajuće podatke koji su navedeni u *Regulation 1013/2006/EC – Annex IB* (Council of Europe, 2013).

4.2 Regulativa SAD u oblasti upravljanja otpadnim uljima

Prvi akt o upravljanju otpadnim uljima u Sjedinjenim Američkim Državama donet je davne 1976. godine. To je Akt o zaštiti i oporavku sirovina (*RCRA - The Resource Conservation and Recovery Act*). Prema ovom aktu Agencija za zaštitu životne sredine (*EPA - Environmental Protection Agency*) dobija ovlašćenja da proverava opasan otpad tokom celokupnog životnog ciklusa proizvoda (od kolevke do groba) (USA Congres, 1976). Ovo podrazumeva proizvodnju, transport, tretman, skladištenje i odlaganje opasnog otpada. Zemljište je postalo isuviše dragocen nacionalni resurs koji se zagađuje otpadnim materijama, u otvorenim i sanitarnim deponijama. Odlaganje čvrstog i opasnog otpada na zemljište bez pažljivog planiranja i nadzora može predstavljati opasnost za ljudsko zdravlje i životnu sredinu.

Aktom iz 1980. godine (US EPA, 1980), predstavljene su smernice i pravila za postupanje sa opasnim otpadom. Tu se prvi put pojavljuju i otpadna ulja kao otpad koji je opasan i kojim se mora pravilno rukovati.

Odeljak 279 standarda 40 CFR (*CFR - Code of Federal Regulations*), koji uređuje zaštitu životne sredine, definiše oblast upravljanja otpadnim uljima, odnosno definiše uslove skladištenja, prevoza, spaljivanja, obrade i rerafinacije otpadnih ulja (US EPA,

2012). Rerafinacija podrazumeva tretman pomoću koga se primenom fizičko hemijskih postupaka dobijaju nova bazna ulja. Prema ovom standardu u otpadna ulja spadaju sva korišćena ulja koja su dobijena iz sirove nafte ili sintetičkog ulja, kod kojih su se, kao rezultat korišćenja, pojavile fizičke ili hemijske nečistoće.

Ovim standardom se obuhvataju i otpadna ulja koja se spaljuju radi dobijanja energije. Ulja se mogu spaljivati jedino u slučajevima kada koncentracija opasnih materija u njima ne prelazi određenu granicu: arsena (5 ppm maksimalno), kadmijuma (2 ppm maksimalno), hroma (10 ppm maksimalno), olova (100 ppm maksimalno), halogena (4.000 ppm maksimalno) i sa minimalnom temperaturom paljenja 38°C.

Svi postupci vezani za korišćenje ili obradu otpadnih ulja su obuhvaćeni ovim standardom. Tako su na primer detaljno propisani uslovi za skladištenje otpadnih ulja, koje se može vršiti samo u kontejnerima i nadzemnim rezervoarima koji moraju biti u dobrom stanju, da nemaju rđu, kao i očigledne strukturne nedostatke, kao ni vidljivih curenja.

Prevoz otpadnih ulja je takođe strogo definisan. Prevoznici otpadnih ulja moraju voditi evidenciju o svakom transportu, koja za svaku pošiljku mora da sadrži:

- naziv i adresu kompanije od koje se preuzima - generatora, prevoznika i kompanije koja će vršiti određeni tretman ulja – procesora,
- EPA identifikacioni broj, broj dodeljen od strane EPA agencije (ukoliko postoji), za kompaniju generatora otpadnih ulja, prevoznika i procesora,
- količina otpadnog ulja koja se transportuje,
- datum prijema (US EPA, 2012).

Takođe, postoji poseban set direktiva koje regulišu prevenciju zagađenja otpadnim uljima (US EPA, 1996).

Svaka od federalnih država Sjedinjenih američkih država može dodatno regulisati postupanje otpadnim uljima, a sve u skladu sa federalnim propisima.

Federalna država Kalifornija u želji da navede stanovništvo na odgovorno upravljanje otpadnim uljima, kako bi se smanjilo ilegalno odlaganje otpadnih ulja i time smanjio negativan uticaj na životnu sredinu, isplaćuje subvenciju od 40 centi po galonu otpadnog ulja (State of California, 2014a). Takođe, donet je propis „*The California Oil Recycling Enhancement (CORE) Act*“, namenjen da obeshrabri nezakonito upravljanje otpadnim uljima, čime su napravljene značajne izmene:

- obezbeđen je dovoljan broj pogodnih lokacija za sakupljanje otpadnih ulja,
- povećana je potražnja za rerafinisanom naftom,
- razvijene su metode za motivaciju stanovništva da reciklira otpadna ulja,
- obezbeđene su subvencije lokalnim samoupravama za razvoj i održavanje programa prikupljanja i recikliranja otpadnih ulja,
- obezbeđeno je finansiranje lokalnih samouprava, neprofitnih organizacija, kao i istraživačkih i demonstracionih projekata.

Detaljna uputstva o postupanju otpadnim uljima obuhvaćena su zakonom „Health and Safety Code section 25250-25250.30“ (State of California, 2014b).

4.3 Regulatorika RS u oblasti upravljanja otpadnim uljima

Prema članu 48. *Zakona o upravljanju otpadom* (Službeni glasnik RS, br. 36/2009) u otpadna ulja, ubrajaju se sva mineralna ili sintetička ulja ili maziva, koja su neupotrebljiva za svrhu za koju su prvobitno bila namenjena, kao što su hidraulična ulja, motorna, turbinska ulja ili druga maziva, brodska ulja, ulja ili tečnosti za izolaciju ili prenos toplote, ostala mineralna ili sintetička ulja, kao i uljni ostaci iz rezervoara, mešavine ulje - voda i emulzije.

Zabranjeno je:

- ispuštanje ili prosipanje otpadnih ulja u ili na zemljište, površinske i podzemne vode i u kanalizaciju,
- odlaganje otpadnih ulja i nekontrolisano ispuštanje ostataka od prerade otpadnih ulja,
- mešanje otpadnih ulja tokom sakupljanja i skladištenja sa PCB i korišćenim PCB ili halogenim materijama i sa materijama koje nisu otpadna ulja, ili mešanje sa opasnim otpadom,
- svaka vrsta prerade otpadnih ulja koja zagađuje vazduh u koncentracijama iznad propisanih graničnih vrednosti.

Proizvođač otpadnih ulja, u zavisnosti od količine otpadnih ulja koju godišnje proizvede, je dužan da obezbedi prijemno mesto do predaje radi tretmana licu koje za to ima dozvolu.

Vlasnici otpadnih ulja koji nisu proizvođači otpadnih ulja dužni su da otpadna ulja predaju licu koje vrši sakupljanje i tretman (Republika Srbija, 2009).

Kako *Zakon o upravljanju otpadom* ne reguliše detaljno postupanje sa otpadnim uljima, Republika Srbija je 2010. godine donela *Pravilnik o uslovima, načinu i postupku upravljanja otpadnim uljima* (Službeni glasnik RS, br. 71/2010), čime se propisuju uslovi, način i postupak upravljanja otpadnim uljima koja su neupotrebljiva za svrhu za koju su prvobitno bila namenjena.

Upravljanje otpadnim uljima treba sprovoditi na način koji neće dovesti do zagađenja voda, zemljišta ili vazduha, zarad očuvanja zdravlja ljudi i životne sredine. Prema ovom *Pravilniku*, upravljanje otpadnim uljima podrazumeva skup mera koje obuhvataju:

- sakupljanje,
- razvrstavanje,
- transport,
- skladištenje,
- tretman otpadnih ulja ili
- odlaganje otpadaka, odnosno ostataka posle tretmana.

Sakupljanje otpadnih ulja

Sakupljanje otpadnih ulja obuhvata postupke sakupljanja, privremenog skladištenja, predobrade/kondicioniranja, razvrstavanja otpadnih ulja radi transporta i tretmana.

Otpadna ulja treba sakupljati u posudama koje su pogodne za njihovo bezbedno sakupljanje i transport i obeležene na propisan način, odnosno nose oznaku indeksnog

broja otpadnih ulja u skladu sa *Katalogom otpada iz Pravilnika o kategorijama, ispitivanju i klasifikaciji otpada* (Službeni glasnik RS, br. 56/2010) (Republika Srbija, 2010a), o čemu će kasnije biti reči. Vrste otpadnih ulja koje su različite po poreklu i sastavu ne mogu se međusobno mešati.

Proizvođač i/ili uvoznik ulja je dužan da obaveštava trgovce o mestima sakupljanja otpadnih ulja na teritoriji Republike Srbije, a trgovci, koji prodaju mineralna ili sintetička ulja ili maziva, obaveštavaju krajnjeg korisnika o mestima na kojima oni mogu da predaju otpadna ulja bez naknade. Postoji mogućnost da trgovci na svojim prodajnim mestima preuzimaju otpadna ulja. U tom slučaju otpadna ulja treba preuzimati u originalnoj ambalaži i čuvati ih u posebnom prostoru namenjenom za njihovo bezbedno čuvanje do predaje sakupljaču otpadnih ulja, na takav način da se ne ugrozi zdravlje ljudi i životna sredina.

Lice koje obavlja delatnost zamene ili odstranjivanja otpadnih ulja (radionice za popravku mašina i opreme, automehaničarske radionice, servisi i dr.) čuva otpadna ulja u posudama na propisan način.

U oba slučaja se zaključuje ugovor sa sakupljačem otpadnih ulja.

Sakupljač preuzima otpadna ulja od proizvođača i/ili vlasnika otpadnih ulja u ugovorenom roku.

Sakupljač otpadnih ulja mora da otpadna ulja preda licu koje vrši skladištenje i/ili tretman otpadnih ulja.

Sakupljač otpadnih ulja, po potrebi, može izvršiti proveru sadržaja vode i prisustva PCB na mestu preuzimanja ili u svom skladištu, u skladu sa Zakonom i drugim propisima.

Sakupljač otpadnih ulja odbija preuzimanje otpadnih ulja za koja se na osnovu ispitivanja utvrdi da sadrže više od 50 mg PCB/kg ulja.

Razvrstavanje otpadnih ulja

Proizvođač, odnosno vlasnik otpadnih ulja razvrstava otpadna ulja nastala njegovom delatnošću na propisan način i čuva do predaje sakupljaču i licu koje vrši transport otpadnih ulja, odnosno licu koje vrši skladištenje i tretman otpadnih ulja.

Proizvođač, odnosno vlasnik otpadnih ulja vrši ispitivanje sadržaja vode i prisustva PCB u otpadnim uljima pre predaje sakupljaču i licu koje vrši transport otpadnih ulja, odnosno licu koje vrši skladištenje i tretman otpadnih ulja, sa kojim je prethodno zaključio ugovor.

Proizvođač, odnosno vlasnik otpadnih ulja kod koga nastaje više od 500 litara otpadnih ulja godišnje obezbeđuje mesto za predaju otpadnih ulja, koje mora biti opremljeno tako da se pri predaji i preuzimanju otpadnih ulja ne ugrozi zdravlje ljudi i životna sredina.

Proizvođač otpadnih ulja, kod koga nastaje manje od 500 litara otpadnih ulja godišnje, može otpadna ulja predati sakupljaču:

- u skladištu sakupljača,
- na mestu za predaju otpadnih ulja drugog vlasnika otpadnih ulja, koji ima ugovor sa sakupljačem otpadnih ulja.

Transport otpadnih ulja

Transport otpadnih ulja podleže pravilima o transportu opasnog otpada i kao takav detaljno je regulisan. Pod terminom transport podrazumeva se unutrašnji i prekogranični transport, kao i svaka druga vrsta transporta za koju postoji određen pravilnik/uredba.

U *Pravilniku o obrascu dokumenta o kretanju opasnog otpada i uputstvu za njegovu popunjavanje* (Službeni glasnik RS, br. 114/2013) propisuje se obrazac *Dokumenta o kretanju opasnog otpada*, koji mora pratiti kretanje opasnog otpada, a samim tim i otpadnih ulja. U ovaj dokument se unose svi detalji o transportu otpadnih ulja (vrsta otpada, indeksni broj otpada, masa, pakovanje, itd.), proizvođaču/vlasniku i primaocu opasnog otpada, kao i detaljima transporta (prevoznik, prevozno sredstvo, ruta kretanja, itd.). *Dokument o kretanju opasnog otpada* potrebno je da bude popunjen od strane vlasnika, prevoznika i primaoca opasnog otpada (Republika Srbija, 2013).

U *Uredbi o listama otpada za prekogranično kretanje, sadržini i izgledu dokumenata koji prate prekogranično kretanje otpada sa uputstvima za njihovo popunjavanje* definisana je između ostalih i *Lista IA - Opasan otpad*, koja obuhvata opasan otpad čiji je uvoz zabranjen, opasan otpad koji se može uvoziti i opasan otpad čiji je izvoz i tranzit zabranjen. Prema ovom dokumentu zabranjen je uvoz ostataka, mešavina i emulzija: ulje/voda i ugljovodonici/voda (oznaka A4-6 A4060), dok su izvoz i tranzit dozvoljeni.

Sadržina, izgled i uputstvo za popunjavanje obrazaca o prekograničnom kretanju otpada dati su u okviru ove *Uredbe* (Republika Srbija, 2010b).

Celokupan proces stvaranja i kretanja opasnog otpada odvija se u skladu sa *Zakonom o potvrđivanju Bazelske konvencije o kontroli prekograničnog kretanja opasnih otpada i njihovom odlaganju* (Republika Srbija, 1989), odnosno sa samom Bazelskom konvencijom.

Skladištenje otpadnih ulja

U skladištu otpadnih ulja, ne može se vršiti predtretman i tretman otpadnih ulja. Skladišta moraju zadovoljavati određene uslove, u smislu da poseduju:

- sekundarne posude za prihvatanje prolivene tečnosti (tankvane),
- stabilnu podlogu otpornu na agresivne materije i nepropusnu za ulje i vodu, sa opremom za sakupljanje prosutih tečnosti i sredstvima za odmašćivanje,
- sistem za potpuni kontrolisani prihvatanje zauljene atmosferske vode sa svih površina, njihov predtretman u separatoru masti i ulja pre upuštanja u rezervoar i redovno pražnjenje i održavanje separatora,
- sistem za zaštitu od požara, u skladu s posebnim propisima (Republika Srbija, 2010c).

Tretman otpadnih ulja

Tretman otpadnih ulja vrši se u postrojenju za tretman na način i po postupku kojim se obezbeđuje zaštita zdravlja ljudi i životne sredine, u skladu sa *Zakonom o upravljanju otpadom* i posebnim propisima.

Regeneracija otpadnih ulja koja sadrže PCB ili PCT može se dozvoliti ukoliko primenjeni postupci regeneracije omogućuju da se PCB i PCT uništi ili smanji tako da ulja dobijena regeneracijom ne sadrže PCB i PCT u količini većoj od 5 mg/kg ulja.

Postupci tretmana otpadnih ulja radi ponovne upotrebe i regeneracije imaju prednost u odnosu na korišćenje u energetske svrhe ili druge odgovarajuće postupke tretmana. Ako otpadna ulja ne mogu da se ponovno iskoriste, ponovno upotrebe ili upotrebe kao gorivo, tretiraju se kao opasan otpad i sa istim se postupa u skladu sa *Zakonom o upravljanju otpadom* i drugim propisima.

Poseban vid tretmana otpadnih ulja, predstavlja termički tretman. Ovakav tretman otpadnih ulja vrši se u energetskim i industrijskim postrojenjima. Otpadna ulja koja sadrže najviše 15% vode u ukupnoj mešavini ulja i vode, najviše 10 mg PCB/kg ulja, imaju tačku paljenja iznad 55°C i toplotnu moć koja je veća od 30 MJ/kg, mogu se suspaljivati i koristiti kao gorivo u energetskim i industrijskim postrojenjima.

4.3.1 Upravljanje otpadnim uljima

Sakupljanje otpadnih ulja radi reciklaže ili odlaganja, zaštite životne sredine i zdravlja ljudi, dodatno se reguliše i *Uredbom o upravljanju otpadnim uljima* (Službeni glasnik RS, br. 60/2008).

Ovom uredbom se zabranjuje mešanje otpadnih ulja različitih kategorija, mešanje ulja i drugog otpada, kao i mešanje sa opasnim otpadom koji sadrži PCB/PCT. Dozvoljeno je mešanje samo otpadnih ulja prve i druge kategorije, a prema stepenu nečistoća, otpadna ulja se razvrstavaju u četiri kategorije:

- otpadna ulja mineralnog porekla sa sadržajem halogena ispod 0,2% i ukupnim PCB i PCT ispod 20 mg/kg; ova ulja mogu se obraditi i ponovo koristiti za proizvodnju ulja,
- otpadna ulja mineralnog, sintetičkog i biljnog porekla sa sadržajem halogena iznad 0,2% i ispod 0,5% i ukupnim PCB i PCT iznad 20 mg/kg i ispod 30 mg/kg; ova ulja se mogu koristiti kao gorivo u energetskim i proizvodnim postrojenjima instalirane snage uređaja veće ili jednake 3 MW ili u pećima za proizvodnju klinkera u fabrikama za proizvodnju cementa,
- otpadna ulja nepoznatog porekla i sva druga otpadna ulja sa sadržajem halogena iznad 0,5%, ukupnim PCB i PCT iznad 30 mg/kg i temperaturom ispod 550°C; ova ulja se moraju spaljivati u pećima za spaljivanje opasnog otpada nominalne efikasnosti 99,99%,
- otpadna ulja na bazi poliglikola/oliglikola koja se ne mešaju sa ostalim uljima prve i druge kategorije i u postupku odstranjivanja moraju se sakupljati i reciklirati ili odlagati odvojeno.

Ovom *Uredbom* definiše se ovlašćeni operater, odnosno pravno lice ili preduzetnik koje ima dozvolu za obavljanje delatnosti tretmana otpadnih ulja. Ovlašćeni operater dužan je da preuzme sakupljeno otpadna ulja od ovlašćenog sakupljača. Prilikom preuzimanja otpadnih ulja od ovlašćenog sakupljača ovlašćeni operater dužan je da overi jedan primerak *Dokumenta o kretanju otpada* i preda ga ovlašćenom sakupljaču.

Ovlašćeni operater mora imati uređeno skladište, odnosno sabirni centar za skladištenje sakupljenih otpadnih ulja, kao i otpada (opasnog i neopasnog) koji nastaje preradom otpadnih ulja, u skladu sa propisima kojima se uređuje postupanje sa otpadnim materijama i procena uticaja na životnu sredinu. Ovlašćeni operater dužan je da obezbedi da količina sakupljenih otpadnih ulja odgovara količini koja se redovno prerađuje.

Prednost u ponovnom iskorišćenju otpadnih ulja ima tretman kojim se obezbeđuje ponovna upotreba otpadnih ulja. Termička obrada otpadnih ulja, odnosno upotreba otpadnih ulja kao goriva mora se obavljati u skladu sa propisima kojima se uređuje zaštita životne sredine. U slučaju da se otpadna ulja ne recikliraju vrši se njihovo konačno odlaganje. Ponovno iskorišćenje otpadnih ulja koja sadrže PCB-e i PCT-e može se dopustiti ukoliko postupci reciklaže omogućuju da se PCB-i i PCT-i unište ili smanje na način da ulja dobijena reciklažom ne sadrže PCB-e i PCT-e, u skladu sa propisima kojima se uređuje zaštita životne sredine.

Sva privredna društva i druga pravna lica i preduzetnici koji svojom delatnošću proizvode različita zagađenja su dužna da vode dnevne evidencije i sačinjavaju godišnje izveštaje o otpadu, prema *Pravilniku o obrascu dnevne evidencije i godišnjeg izveštaja o otpadu sa uputstvom za njegovo popunjavanje* (Službeni glasnik RS, br. 95/2010) (Republika Srbija, 2010d).

Takođe, prema *Pravilniku o metodologiji za izradu nacionalnog i lokalnog registra izvora zagađivanja, kao i metodologiji za vrste, načine i rokove prikupljanja podataka* (Službeni glasnik RS, br. 91/2010), dužni su da jednom godišnje dostavljaju podatke Nacionalnom registru izvora zagađivanja (NRIZ) o zagađujućim materijama koje se emituju u životnu sredinu. Ovim *Pravilnikom* propisuje se metodologija za izradu nacionalnog i lokalnog registra izvora zagađivanja, kao i metodologija za vrste, načine i rokove dostavljanja podataka. Nacionalni registar izvora zagađivanja vodi Agencija za zaštitu životne sredine.

Agencija dostavlja podatke nadležnom Ministarstvu, koje izrađuje izrađuje godišnji izveštaj o sprovođenju *Uredbe o upravljanju otpadnim uljima* (Republika Srbija, 2008). Istovremeno, Agencija za zaštitu životne sredine sačinjava izveštaj o posebnim tokovima otpada u Republici Srbiji. U proizvode koji posle upotrebe postaju posebni tokovi otpada spadaju: gume, proizvodi koji sadrže azbest, baterije ili akumulatori, ulja, električni i elektronski proizvodi i vozila. Prema izveštaju o posebnim tokovima otpada u Republici Srbiji u 2012. godini, te godine je na tržište Srbije stavljeno u promet 15.640,81 t ulja. 3.411,40 t je prerađeno, dok je 1.304,46 t izvezeno na dalji tretman (Agencija za zaštitu životne sredine, 2012). Podaci o preostalim količinama ulja nisu dostavljeni Agenciji.

Na internet portalu Agencije za zaštitu životne sredine (<http://www.sepa.gov.rs/DostavljanjePodataka/Default.aspx>) može se pogledati spisak preduzeća koja su dostavila izveštaje o količinama i karakteristikama neopasnog i opasnog otpada koji se proizvodi u njihovim postrojenjima. Prema saopštenju same agencije može se zaključiti da ispunjavanje obaveza mnogima nije prioritet:

„Agencija za zaštitu životne sredine je do sada, primila preko 10700 izveštaja od više od 6000 obveznika, ali još uvek oko 8000 izveštaja nije dostavljeno. Najveći broj izveštaja nisu dostavila preduzeća koja na tržište Srbije stavljaju proizvode koji nakon upotrebe postaju posebni tokovi otpada – gume, baterije, ulja itd, njih preko 7000.

U cilju povećanja transparentnosti podataka koji se dostavljaju u Nacionalni registar izvora zagađivanja od strane operatera, pripremljeni su podaci o preduzećima koja su dostavila, ali i o onim koja nisu ispunila svoje obaveze dostavljanja podataka. Liste preduzeća su dostupne zainteresovanoj javnosti i u njima su preduzeća koja spadaju u velike zagađivače životne sredine (PRTR registar preduzeća), JKP koja sakupljaju čvrsti otpad, proizvođači i uvoznici proizvoda koji nakon upotrebe postaju posebni tokovi otpada, operateri postrojenja za tretman ili deponovanje otpada, ali i svi drugi koji imaju bilo kakvu obavezu izveštavanja. Liste se automatski ažuriraju.

Nedostavljanje podataka u Nacionalni registar izvora zagađivanja, u skladu sa članom 117. Zakona o zaštiti životne sredine, predstavlja prekršaj za koji je predviđena kazna u iznosu od 500.000 do 1.000.000 dinara.“

Naknada za upravljanje otpadnim uljima

Prema *Zakonu o upravljanju otpadom* (Republika Srbija, 2009), nakon upotrebe, ulja postaju posebni tokovi otpada, i kao takvi podležu plaćanju određenih naknada, koje su definisane *Uredbom o proizvodima koji posle upotrebe postaju posebni tokovi otpada, obrascu dnevne evidencije o količini i vrsti proizvedenih i uvezenih proizvoda i godišnjeg izveštaja, načinu i rokovima dostavljanja godišnjeg izveštaja, obveznicima plaćanja naknade, kriterijumima za obračun, visinu i način obračunavanja i plaćanja naknade* (Službeni glasnik RS, br. 54/2010, 86/2011,15/2012, 41/2013 - dr. pravilnik i 3/2014).

Obveznici plaćanja naknade za upravljanje posebnim tokovima otpada jesu proizvođači i uvoznici proizvoda koji posle upotrebe postaju posebni tokovi otpada. Tu spadaju i proizvođači, odnosno uvoznici svežeg mineralnog ili sintetičkog ulja ili maziva. Oni su dužni da vode dnevnu evidenciju o količini i vrsti proizvedenih i uvezenih proizvoda koji posle upotrebe postaju posebni tokovi otpada, kao i da prave godišnje izveštaje.

Naknada za ulja obračunava se prema količini proizvedenih, odnosno uvezenih mineralnih ili sintetičkih ulja ili maziva izuzev jestivih ulja i emulzija (Republika Srbija, 2014). Određivanje visine i plaćanja naknade za upravljanje otpadnim uljima vrši se u skladu sa propisom kojim se uređuju:

- vrste zagađenja,
- kriterijumi za obračun naknade za zagađivanje životne sredine i obveznici,
- visina i način obračunavanja i plaćanja naknade (Republika Srbija, 2008).

Visina i način obračuna i plaćanja naknade za upravljanje otpadnim uljima utvrđuju se na ime pokrića troškova upravljanja otpadnim uljima. Visina naknade za upravljanje

otpadnim uljima definisana je u *Prilogu 1 - Visina naknade za upravljanje otpadnim uljima* pomenute *Uredbe*. Za kompresorska ulja za podmazivanje za jedinicu mere kg/l visina naknade je 12 din/10,80 din neto. Naknada se obračunava i plaća prilikom prvog stavljanja ulja na tržište ulja, odnosno prilikom uvoza tih proizvoda (Republika Srbija, 2014).

4.3.2 Klasifikacija otpada

Kao što je prethodno rečeno, prilikom sakupljanja i transporta otpadnih ulja neophodno je izvršiti obeležavanje otpadnih ulja u skladu sa *Katalogom otpada iz Pravilnika o kategorijama, ispitivanju i klasifikaciji otpada* (Službeni glasnik RS, br. 56/2010). *Katalog otpada* je usklađen s Evropskim katalogom otpada (*European List of Waste/European Waste Catalog*) (EPA, 2002).

Prema ovom *Pravilniku* sav otpad, bilo neopasan ili opasan, razvrstava se u dvadeset grupa u zavisnosti od mesta nastanka i porekla, a koje su definisane u *Katalogu otpada*. Svaka od navedenih grupa sadrži podgrupe koje su označene sa četiri cifre. Grupe i podgrupe upućuju na odgovarajuću vrstu otpada. Na ovaj način obuhvaćeno je 800 vrsta otpada.

Nakon izvršene klasifikacije, svaki otpad je označen šestocifrenim brojem, koji se naziva indeksni broj otpada, gde:

- prve dve cifre označavaju aktivnost iz koje nastaje otpad,
- treća i četvrta cifra označavaju proces u kojem otpad nastaje,
- peta i šesta cifra označavaju deo procesa iz kojeg otpad nastaje.

U cilju preciznog izbora odgovarajućeg indeksnog broja iz *Kataloga otpada*, prethodno je potrebno utvrditi:

- delatnost u toku koje je otpad generisan,
- način, odnosno proces ili aktivnost u okviru delatnosti, u toku koje je otpad generisan,
- opis otpada,
- sastav otpada,
- sadržaj opasnih materija u otpadu i
- opasnosti koje su povezane s otpadom.

Pri određivanju indeksnog broja otpada uvek treba koristiti onaj indeksni broj čiji opis što tačnije prikazuje karakteristike otpada, vodeći računa o grupi i podgrupi, kao i postupku razvrstavanja.

Sva otpadna ulja, izuzev jestivog ulja, se svrstavaju u opasan otpad bez obzira o kojoj vrsti ulja je reč, kakvog je porekla ili od čega je napravljeno. Prema *Katalogu otpada*, otpadna ulja se nalaze u više grupa, ali su najvećim delom obuhvaćena indeksnim brojevima 12 00 00 i 13 00 00. Veoma je važno utvrditi koje karakteristike opasnog otpada ulje poseduje. Na taj način će učesnici u transportu otpada biti u potpunosti svesni potencijalnih opasnosti koje mogu da nastanu (Republika Srbija, 2010e).

Pod opasnim otpadom podrazumeva se otpad koji po svom poreklu, sastavu ili koncentraciji opasnih materija može prouzrokovati opasnost po životnu sredinu i zdravlje

ljudi, kao i zdravlje životinja, i ima najmanje jednu od opasnih karakteristika (eksplozivnost, zapaljivost, sklonost oksidaciji, organski je peroksid, akutna otrovnost, infektivnost, sklonost koroziji, u kontaktu sa vazduhom oslobađa zapaljive gasove, u kontaktu sa vazduhom ili vodom oslobađa otrovne supstance, sadrži toksične supstance sa odloženim hroničnim delovanjem, kao i ekotoksične karakteristike), uključujući i ambalažu u koju je opasan otpad bio ili jeste upakovan.

Opasan otpad se određuje prema karakteristikama otpada koje ga čine opasnim (H lista *Pravilnika o kategorijama, ispitivanju i klasifikaciji otpada*) i komponentama otpada zbog kojih se otpad smatra opasnim (C lista *Pravilnika o kategorijama, ispitivanju i klasifikaciji otpada*). Takođe, potrebno je klasifikovati otpad prema Y listi, odnosno listi kategorija ili srodnih tipova opasnog otpada prema njihovoj prirodi ili prema aktivnosti kojom se stvaraju (Republika Srbija, 2010a).

Uputstvo za određivanje indeksnog broja

Zakon o upravljanju otpadom zahteva da otpad bude opisan na način koji omogućava sigurno rukovanje i upravljanje predmetnim otpadom, kao i da bilo koja promena vlasništva otpada bude praćena odgovarajućom dokumentacijom, koja obavezno uključuje indeksni broj otpada.

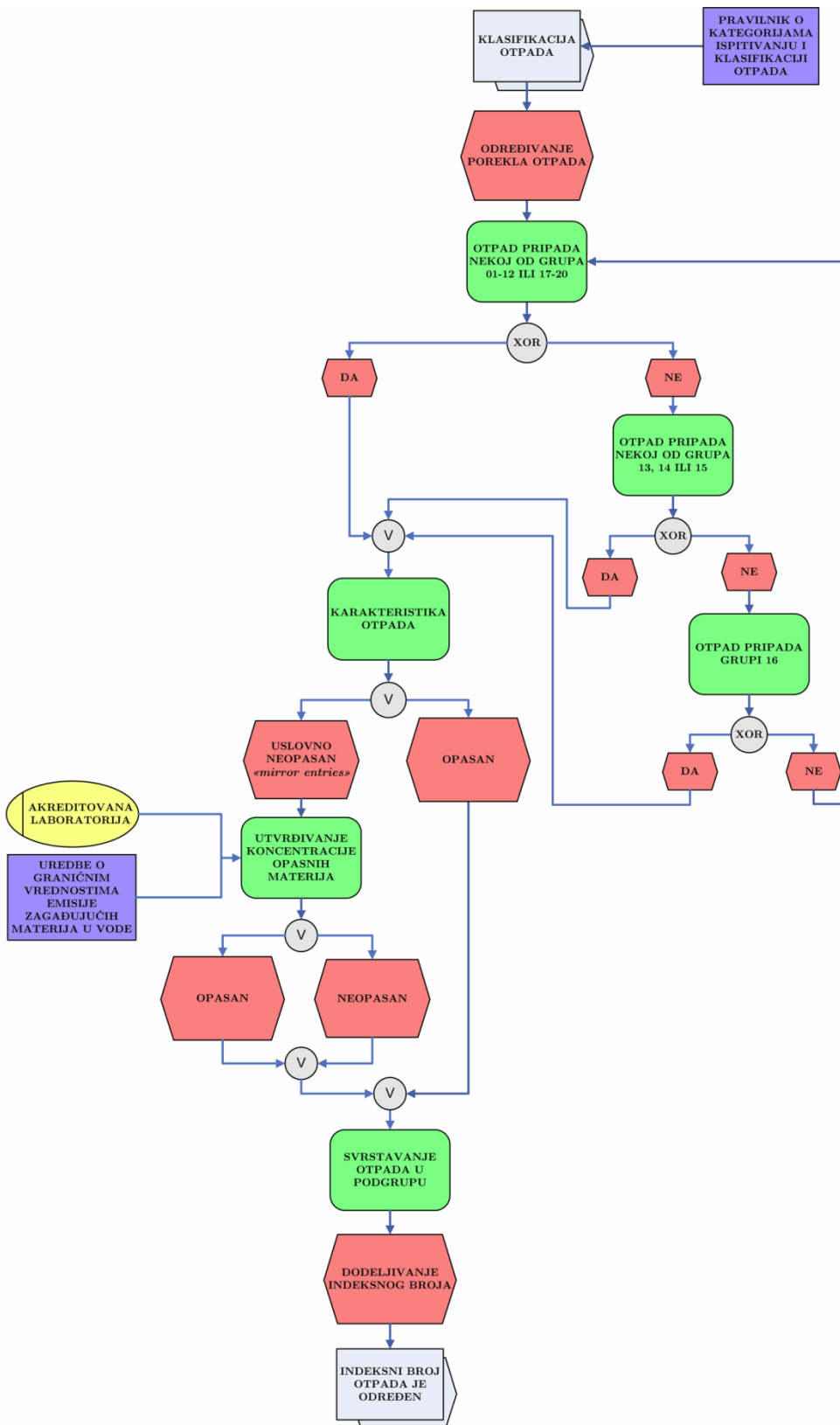
Radi lakšeg sprovođenja postupka određivanja indeksnog broja otpada, a bazirano na Uputstvu za određivanje indeksnog broja (Redžić et al., 2010), predlaže se novi algoritam dodeljivanja indeksnog broja otpada, koji je napravljen na osnovu EPC dijagrama (*EPC – Event-driven Process Chain*), i predstavljen na slici 39.

Korak 1.

Prilikom određivanja indeksnog broja otpada, potrebno je najpre svrstati otpad u jednu od 20 grupa delatnosti, odnosno u grupe 1-12 i 17-20 u zavisnosti od delatnosti iz koje otpad potiče. Potom je potrebno pronaći odgovarajuću podgrupu i tačne indeksne brojeve u njoj. Ali, treba znati da, iako je delatnost pravilno opisana, treba pregledati ceo *Katalog*, jer je moguće da se bolji opisi generisanog otpada nalaze na drugom mestu na listi.

Može se desiti da ne postoji odgovarajući opis otpada u odabranoj grupi. To znači da otpad nije direktno povezan sa delatnošću i treba potražiti na drugom mestu u *Katalogu*. Isto tako, otpad se može svrstati i u više grupa u zavisnosti od procesa nastanka, pa je neophodno proći kroz ceo *Katalog otpada*.

Ukoliko nije moguće odrediti indeksni broj otpada u ovom koraku, potrebno je preći na korak 2.



Slika 39. Algoritam dodeljivanja indeksnog broja otpadu

Korak 2.

Ukoliko se otpad ne može svrstati ni u jednu od grupa 1-12 ili 17-20, potrebno je pogledati grupe 13, 14 i 15 i potom pronaći odgovarajući opis otpada.

Ovaj korak je važan iz aspekta ove disertacije, jer su otpadna ulja i ostaci tečnih goriva svrstani u ovu grupu, mada se često ulja mogu pronaći i u drugim grupama, naročito grupi 12.

Ukoliko nije moguće odrediti indeksni broj otpada u ovom koraku, potrebno je preći na korak 3.

Korak 3.

Ukoliko otpad nije svrstan ni u jednu od prethodno navedenih grupa, potrebno je razmotriti grupu 16.

Ova grupa obuhvata otpad koji nije drugačije specificiran u katalogu, odnosno tu spadaju vozila iz različitih vidova transporta (uključujući mehanizaciju) koja su ostavljena na otpadu, otpad nastao demontažom takvih vozila i otpad od održavanja vozila, kao i otpad iz električne opreme, akumulatora, otpad od čišćenja rezervoara, eksplozive, katalizatore, oksidativne materije, laboratorijske hemikalije i gasove, vatrostalni otpad i nekorišćene i na drugom mestu navedene hemikalije.

Ukoliko nije moguće odrediti indeksni broj otpada u ovom koraku, potrebno je preći na korak 4.

Korak 4.

Potrebno je odrediti odgovarajuću grupu (od 01 do 12 ili 17 do 20) prema koraku 1, a zatim indeksni broj sa zadnjim ciframa 99 u odgovarajućoj podgrupi.

Indeksni brojevi koji se završavaju cifrom „99“ u celom katalogu su opisani kao „otpadi koji nisu drugačije specificirani“. Ovi indeksni brojevi se koriste u slučajevima kada nije moguće odrediti indeksni broj primenom koraka od 1 do 3. Kodovi „99“ obuhvataju previše širok raspon vrsta otpada da bi se mogli koristiti za nedvosmisleno opisivanje otpada i zato se njihova primena uslovljava obaveznim pratećim detaljnim opisom otpada.

Nakon svrstavanja otpada u jednu od definisanih 20 grupa otpada, potrebno je odrediti karakteristike otpada, odnosno, da li je posmatrani otpad opasan ili ne. Opasan otpad se može naći u bilo kojoj grupi otpada.

Postoji otpad koji se smatra opasnim bez obzira na sastav ili koncentraciju opasne materije u njemu. Za razliku od njega, neki otpad može biti opasan ili ne u zavisnosti od toga da li, i u kojoj količini, sadrži opasne materije. U skladu sa tim postoje "uslovni indeksni brojevi otpada" ili "*mirror entries*" od kojih se jedan indeksni broj dodeljuje otpadu koji se smatra opasnim (sadrži opasne materije ili određenu opasnu materiju iznad maksimalno dozvoljene koncentracije), a drugi uslovni indeksni broj pripada otpadu koji se smatra neopasnim (ne sadrži opasne materije). Utvrđivanje koncentracije opasnih materija vrši akreditovana laboratorija, koja sačinjava izveštaj u skladu sa *Pravilnikom o kategorijama, ispitivanju i klasifikaciji otpada* (Republika Srbija, 2010a).

Postupak se završava određivanjem šestocifrenog indeksnog broja otpada.

Osim toga, potrebno je i detaljno opisati otpad, budući da indeksni broj može pokriti više vrsta otpada sa različitim fizičkim i hemijskim svojstvima i različitim uticajem na životnu sredinu.

Utvrđivanje indeksnog broja otpada je neophodno kako bi se precizno odredila vrsta otpada i njime upravljalo na odgovarajući način. Osim toga, indeksni broj ima funkciju u dodeljivanju dozvola za upravljanje otpadom, u transportu otpada, naročito prekograničnom, itd.

Agencija za zaštitu životne sredine u svom Uputstvu za određivanje indeksnog broja otpada (Redžić et al., 2010) definiše i Leksikon otpada, tj. listu od preko 1.000 opisa često generisanih vrsta otpada, kao i njima odgovarajućih kodova. Leksikon ima za cilj da dodatno pomogne u izboru tačnog indeksnog broja otpada i treba ga koristiti pri određivanju indeksnog broja otpada.

4.3.3 Strategija upravljanja otpadom u RS za period 2010 – 2019

U *Strategiji upravljanja otpadom za period 2010-2019. godine* (Službeni glasnik RS, br. 29/2010), predočeno je trenutno stanje u oblasti upravljanja otpadom u RS, definisani su ciljevi i strateški okvir upravljanja otpadom, kao i akcioni plan.

U *Strategiji* se navodi da u Republici Srbiji ne postoji ni jedna lokacija za odlaganje opasnog otpada. Ne postoji trajno skladište opasnog otpada na teritoriji Republike Srbije. U takvim okolnostima, proizvođači opasnog otpada vrše privremeno skladištenje opasnog otpada na sopstvenim lokacijama u privremenim skladištima, iako u nekima od njih otpad stoji i više od 20 godina. Otpadna ulja i uljne emulzije se najčešće izvoze.

Ne postoje egzaktni podaci o količinama generisanih otpadnih ulja na teritoriji Republike Srbije. Prema podacima Republičkog zavoda za statistiku, u 2010. godini na tržište Srbije je pušteno u promet 71.142 t različitih ulja mineralnog porekla. Od toga je od strane ovlašćenih sakupljača preuzeto 432 t, a tretirano 405 t, što je 0,6% (Republički zavod za statistiku, 2012). Očekuje se da se količine ulja koje se stavljaju u promet povećaju na 200.000 t/god. u 2020. godini.

Na teritoriji Republike Srbije ne postoji uređen sistem sakupljanja otpadnih ulja. Kapaciteti za sakupljanje i regeneraciju otpadnih ulja iznose oko 25.000 t/god. Pojedini operateri vrše sakupljanje i privremeno skladištenje. U znatno manjoj meri je prisutno sakupljanje i regeneracija ulja iz sopstvene proizvodnje, kao i regeneracija ulja kod privatnih preduzetnika. Deo otpadnih ulja se izvozi na konačno zbrinjavanje, a jedan deo otpadnih ulja se nelegalno sakuplja i zbrinjava, najčešće u energetske svrhe. U Kladovu postoji fabrika za reciklažu otpadnog broskog ulja. Cementare (*Holcim* i *Lafarge*) imaju kapaciteta za korišćenje otpadnih ulja u energetske svrhe.

Kao poseban problem izdvaja se nedostatak infrastrukture za tretman i odlaganje opasnog otpada. Na području Republike Srbije ne postoje postrojenja za tretman opasnog industrijskog otpada (postoji nekoliko registrovanih postrojenja za fizički tretman posebnih tokova otpada koji spadaju u opasan otpad). Ne postoji ni lokacija uređena za odlaganje

opasnog otpada, niti centralna skladišta. Opasan otpad se privremeno skladišti u neodgovarajućim skladištima, od kojih neka postoje i više decenija, ili na fabričkim deponijama. Analize ukazuju da 62% privremenih skladišta opasnog otpada ne zadovoljava propisane uslove, a da se samo 5% opasnog otpada privremeno skladišti na propisan način. Iz tog razloga, potrebe za izvozom opasnog otpada radi tretmana stalno rastu.

Prostornim planovima u Republici Srbiji nisu određene lokacije za izgradnju postrojenja za upravljanje opasnim otpadom i za sada ne postoji odobrena lokacija za deponiju opasnog otpada u Republici Srbiji.

U ciljevima za period 2015-2019 navedeno je da se planira:

- uvođenje odvojenog sakupljanja i tretmana opasnog otpada iz domaćinstava i industrije,
- izgradnja 12 regionalnih centara za upravljanje otpadom - regionalne deponije, postrojenja za separaciju reciklabilnog otpada i transfer stanice u svakom regionu,
- jačanje profesionalnih i institucionalnih kapaciteta za upravljanje opasnim otpadom (Republika Srbija, 2010e).

4.4 Eksperiment III: Utvrđivanje sadržaja kondenzata

Eksperimentalno ispitivanje u okviru četvrte faze istraživanja podrazumeva laboratorijsku analizu kondenzata iz sistema vazduha pod pritiskom. Laboratorijska analiza podrazumeva utvrđivanje koncentracije ulja u kondenzatu ispuštenog iz filtera vazduha pod pritiskom, koja se nalazi neposredno posle kompresora, a radi dobijanja adekvatnih podataka o sastavu kondenzata, kako bi se utvrdio način daljeg postupanja sa kondenzatom.

U Laboratoriji za analizu zagađujućih materija u životnoj sredini i hrani, na Tehnološkom fakultetu u Novom Sadu, sprovedena je analiza uzorka kondenzata iz sistema vazduha pod pritiskom, tj. određen je sadržaj ulja datog kondenzata.

Kondenzat je uzorkovan iz sistema vazduha pod pritiskom koji je korišćen za sprovođenje eksperimentalnog dela u drugoj i trećoj fazi istraživanja, i to iz pripreme grupe koja je postavljena nakon kompresora. Priprema grupa koja se sastoji od čestičnog filtera, stepena filtracije 40 μm , sa regulatorom pritiska i zauljivača vazduha (slika 40). Nakon dva meseca osmočasovnog rada kompresora, iz filtera vazduha pod pritiskom uzorkovano je 18 ml tečnog kondenzata (slika 41).

Prilikom utvrđivanja sadržaja kondenzata korišćena je gravimetrijska metoda. To je metoda u kojoj se meri masa supstance koja se iz uzorka izdvaja, bilo u slobodnom obliku ili u obliku jedinjenja poznatog hemijskog sastava. Sadržaj ulja u kondenzatu je određen poređenjem sa mineralnim uljem koje se koristi za podmazivanje kompresora koji je korišćen u eksperimentalnom istraživanju, CompAir Fluid Force 2000hr.

Sadržaj ulja određen gravimetrijski iznosi 14,23 mg/ml (g) uzorka, tj. 0,14 masene %.

Dodatno je izvršena gasno hromatografska analiza ekstrakta tj. kondenzata (uz primenu plameno-jonizacionog detektora), u skladu sa postojećim metodama za analizu ukupnih ugljovodonika naftnog porekla, kao i analiza originalnog ulja iz sistema vazduha

pod pritiskom (kompresora). Gasni hromatograf je instrument koji se u hemijskoj analizi koristi za razdvajanje komponenti iz smeše datog uzorka. Uzorak, nošen gasom nosačem, prolazi kroz kolonu gasnog hromatografa, koja razdvaja uzorak na komponente u zavisnosti od njihovih fizičkih i hemijskih osobina. Na kraju kolone je detektor koji električnim putem registruje pojedine komponente uzorka i koncentracija svake u datom uzorku.



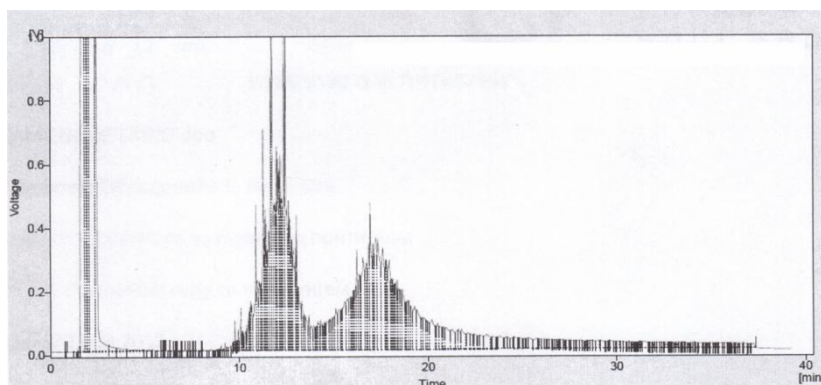
Slika 40. Mesto uzorkovanja kondenzata iz sistema vazduha pod pritiskom



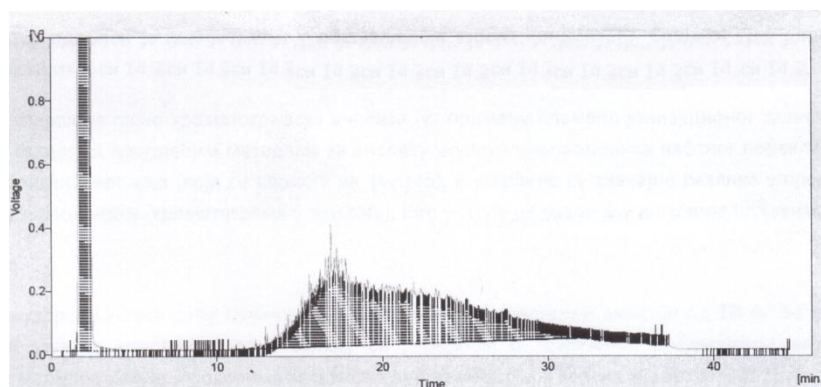
Slika 41. Originalno mineralno ulje (levo) i uzorak kondenzata (desno)

Ukoliko se pogleda profil prisutnih ugljovodonika na hromatogramu kondenzata (slika 42) i profil ugljovodonika na hromatogramu originalnog ulja (slika 43), mogu se utvrditi značajne razlike, što ukazuje na razlike u njihovim sastavima. Značajne promene u sastavu ulja iz kondenzata i originalnog ulja, uočene poređenjem gasno-hromatografskih profila

ekstrakta uzorka i rastvora originalnog ulja, ukazuju da tokom primene ulja, odnosno usled visokih temperatura koje vladaju u motoru kompresora prilikom njegovog rada, dolazi do degradacije viših ugljovodonika i nastajanja ugljovodonika nižih molekulskih masa od onih prisutnih u polaznom ulju. Odnosno, korišćenjem ulja za podmazivanje kompresora, dolazi do promene njegovih fizičkih i hemijskih svojstava. Takođe, korišćena ulja mogu sadržati štetne nečistoće koje su akumulirane tokom upotrebe. Koncentracija takvih nečistoća zavisi od upotrebe i mogu predstavljati rizik po zdravlje ljudi i životnu sredinu nakon odlaganja. Prema specifikaciji proizvođača (CompAir, 2007), upotrebljeno ulje se ne sme odlagati u životnu sredinu, kanalizaciju ili vodotokove.



Slika 42. Gasno hromatografski profil ekstrakta uzorka kondenzata



Slika 43. Gasno hromatografski profil rastvora originalnog ulja

Na osnovu ovih rezultata utvrđeno je da uzorak kondenzata sadrži veću količinu ulja od granične vrednosti emisije od 10 mg/l mineralnih ulja za otpadne vode u skladu sa „Uredbom o graničnim vrednostima emisije zagađujućih materija u vode i rokovima za njihovo dostizanje” (Republika Srbija, 2012).

4.4.1 Klasifikacija kondenzata sistema vazduha pod pritiskom

Kako bi se kondenzatom sistema vazduha pod pritiskom adekvatno upravljalo neophodno je najpre dodeliti indeksni broj otpada, odnosno svrstati kondenzat u jednu od grupa otpada prema *Katalogu otpada* (Republika Srbija, 2010a).

Na osnovu postupka klasifikacije otpada opisanog u poglavlju 4.3.2, u prvom koraku je potrebno razmotriti grupe 1-12 i 17-20 *Kataloga otpada*. Spisak svih grupa je dat u Prilogu 2. Već je navedeno da se najveći broj otpadnih ulja svrstava u grupe 12 i 13 *Kataloga otpada*, ali se takođe i savetuje pregled celokupnog *Kataloga otpada*, budući da se odgovarajući opis nekog otpada može pronaći u nekoj drugoj grupi. Zbog toga je u Prilogu 3 dat pregled grupa 12 i 13 *Kataloga otpada*.

Grupa 12 obuhvata otpad od oblikovanja i fizičke i mehaničke površinske obrade metala i plastike, dok grupa 13 obuhvata otpad od ulja i ostataka tečnih goriva (osim jestivih ulja i onih u poglavljima 05, 12 i 19).

S toga je neophodno najpre razmotriti da li se kondenzat sistema vazduha pod pritiskom može svrstati u grupu 12.

Ako se detaljnije pogleda otpad opisan u okviru grupe 12, može se zaključiti da kondenzat sistema vazduha pod pritiskom ne pripada ni jednom od navedenih opisa otpada.

Sledeći korak je svrstavanje kondenzata u grupu 13 i pronalaženje adekvatnog opisa, kako bi se odredio indeksni broj. Ukoliko se detaljno pogleda opis otpada u okviru grupe 13, može se zaključiti da opis „zauljena voda iz separatora ulje/voda“ najviše odgovara opisu kondenzata sistema vazduha pod pritiskom. U skladu sa tim, kondenzatu se dodeljuje indeksni broj otpada 13 05 07.

Sva otpadna ulja, izuzev jestivog ulja, se svrstavaju u opasan otpad bez obzira o kojoj vrsti ulja je reč, kakvog je porekla ili od čega je napravljeno (EPA, 2002). Iz tog razloga nije potrebno prolaziti kroz korake ispitivanja karakteristika otpada, već je potrebno navesti karakteristike i komponente koje otpad čine opasnim, prema *H listi - Pravilnika o kategorijama, ispitivanju i klasifikaciji otpada* (Službeni glasnik RS, br. 56/2010). Prema ovom *Pravilniku* postoji 15 karakteristika koje otpad čine opasnim. Neke od tih karakteristika su: eksplozivan, oksidirajući, zapaljiv, nadražujući, štetan, otrovan, itd. Celokupna *H lista* data je u Prilogu 4. Određivanje H indeksa otpada je neophodno, budući da je osoba koja preuzima otpadna ulja obavezna da upiše u prateću dokumentaciju (*Dokument o kretanju opasnog otpada, Dokument o prekograničnom kretanju otpada*) karakteristike otpada koje ga čine opasnim, kako bi se njim adekvatno upravljalo.

Prema specifikaciji proizvođača originalnog ulja, čija je koncentracija ispitivana u uzorkovanom kondenzatu, ovo ulje može biti iritirajuće (indeks H4 iz *H liste - Pravilnika o kategorijama, ispitivanju i klasifikaciji otpada*) i štetno/opasno (indeks H5 iz *H liste - Pravilnika o kategorijama, ispitivanju i klasifikaciji otpada*).

Kondenzat sistema vazduha pod pritiskom indeksni broj otpada: 13 05 07 H indeks: H4, H5

4.5 Diskusija

Kompresorska ulja se koriste za podmazivanje, zaptivanje i hlađenje kompresora u toku rada. Tokom rada kompresora ulje dospeva u sistem vazduha pod pritiskom u obliku tečnog ulja i uljnih aerosola. U skladu sa tim, kondenzat koji se ispušta iz sistema vazduha pod pritiskom je zauljen u određenoj meri.

Budući da otpadna ulja, u koja se može svrstati i kondenzat sistema vazduha pod pritiskom, spadaju u opasan otpad, njima se mora upravljati na odgovarajući način i u skladu sa Zakonom, kako ne bi imali negativan uticaj na životnu sredinu.

Analizom zakonske regulative Republike Srbije, u oblasti upravljanja otpadnim uljima, može se zaključiti da je ova oblast zakonski uređena i da postoje pravila u postupcima upavljanja otpadnim uljima:

- otpadna ulja se ne smeju ispuštati u zemljište, u površinske i podzemne vode i kanalizaciju,
- zabranjeno je mešanje otpadnih ulja tokom sakupljanja i skladištenja sa materijama koje sadrže halogene, polihlorovane bifenile, polihlorovane terfenile ili pentahlorofenole i sa materijama koje nisu otpadna ulja, ili mešanje sa opasnim otpadom,
- potrebno je odrediti prijemna mesta za sakupljanje otpadnih ulja i uspostaviti sistem sakupljanja i tretmana, to podrazumeva da prodavci mineralnih i sintetičkih ulja moraju obezbediti preuzimanje otpadnih ulja od krajnjeg kupca, na prodajnom mestu,
- nakon sakupljanja, ulja se moraju čuvati na način da ne ugrožavaju životnu sredinu,
- postupci tretmana otpadnih ulja radi ponovnog korišćenja (regeneracija i rerafinacija) imaju prednost u odnosu na korišćenje u energetske svrhe ili druge odgovarajuće postupke tretmana,
- lica koja vrše sakupljanje, skladištenje i tretman svih otpadnih ulja moraju da imaju dozvole za rad, da vode i čuvaju evidenciju o otpadnim uljima, o količini koja je sakupljena, uskladištena, tretirana, ili odložena na deponiju i da te podatke dostavljaju Agenciji za zaštitu životne sredine.

Međutim, realna situacija je daleko od zakonski propisane.

Prema *Strategiji upravljanja otpadom za period 2010-2019. godine*, objavljenoj u Službenom glasniku br. 29/2010, navedeno je da nedostaju precizni podaci o količinama otpada koji se generiše, a naročito o količinama opasnog otpada.

Kao jedan od važnih problema navodi se odsustvo javne svesti o postupanju sa otpadom. Ne postoji edukacija stanovništva o otpadu, načinu postupanja i obavezi reciklaže, već se otpad (u to se ubraja i opasan otpad) nekontrolisano odlaže u zemljište, površinske i podzemne vode.

Jedan od ciljeva *Strategije* je izgradnja pet centralnih regionalnih skladišta opasnog otpada, u kojima bi se opasan otpad čuvao radi tretmana, zatim izgradnja postrojenja za fizičko-hemijski tretman opasnog otpada u okviru centra za upravljanje opasnim otpadom, zatim izgradnja dva insineratora za spaljivanje opasnog otpada, kao i deponije opasnog otpada.

Prema analizi realizacije mera i aktivnosti iz nacionalne strategije upravljanja otpadom za period 2003-2008., koja je predstavljena u *Strategiji* može se uočiti veliko kašnjenje u postavljenim rokovima (pet i više godina) za određene aktivnosti, kao i totalno odsustvo realizacije mnogih definisanih aktivnosti. Takođe, može se videti da i kratkoročni ciljevi iz *Strategije*, ciljevi utvrđeni za period 2010-2014, danas nisu ispunjeni, bez izgleda da budu ispunjeni u bliskoj budućnosti (Republika Srbija, 2010e).

Sva preduzeća su dužna da Agenciji za zaštitu životne sredine dostavljaju izveštaje o količinama i karakteristikama neopasnog i opasnog otpada koji se proizvodi u njihovim postrojenjima, radi formiranja Nacionalnog registra izvora zagađivanja. Međutim, tu zakonsku obavezu mnoga preduzeća ne ispunjavaju, bez obzira na finansijske posledice predviđene Zakonom o zaštiti životne sredine.

Može se izvesti opšti zaključak da je zakonska regulativa upravljanja otpadnim uljima u Republici Srbiji dobra i usaglašena sa regulativom EU, međutim izostaje dosledno sprovođenje zakona.

Još jedna zamerka koja se odnosi na zakonsku regulativu upravljanja otpadnim uljima u Republici Srbiji, jeste postojanje velikog broja zakonskih i podzakonskih akata, pravilnika i uredbi, kao i obrazaca i dokumenata koje činioci u lancu upravljanja uljima treba da poznaju kako bi na adekvatan način postupali sa uljima i otpadnim uljima.

Analizom regulative, utvrđeno je da je potrebno poznavati i poštovati 10 propisa kako bi upravljanje uljima bilo odgovarajuće:

1. Zakon o upravljanju otpadom,
2. Zakon o potvrđivanju Bazelske konvencije o kontroli prekograničnog kretanja opasnih otpada i njihovom odlaganju,
3. Pravilnik o uslovima, načinu i postupku upravljanja otpadnim uljima,
4. Uredba o upravljanju otpadnim uljima,
5. Pravilnik o obrascu dnevne evidencije i godišnjeg izveštaja o otpadu sa uputstvom za njegovo popunjavanje,
6. Uredba o proizvodima koji posle upotrebe postaju posebni tokovi otpada, obrascu dnevne evidencije o količini i vrsti proizvedenih i uvezenih proizvoda i godišnjeg izveštaja, načinu i rokovima dostavljanja godišnjeg izveštaja, obveznicima plaćanja naknade, kriterijumima za obračun, visinu i način obračunavanja i plaćanja naknade,
7. Pravilnik o metodologiji za izradu nacionalnog i lokalnog registra izvora zagađivanja, kao i metodologiji za vrste, načine i rokove prikupljanja podataka,
8. Pravilnik o kategorijama, ispitivanju i klasifikaciji otpada,
9. Pravilnik o obrascu dokumenta o kretanju opasnog otpada i uputstvu za njegovo popunjavanje,
10. Uredba o listama otpada za prekogranično kretanje, sadržini i izgledu dokumenata koji prate prekogranično kretanje otpada sa uputstvima za njihovo popunjavanje.

Takođe, većina ovih propisa uređuje i obrasce i dokumenta koji prate životni ciklus ulja i koje je takođe potrebno poznavati.

Propisani dokumenti, zajedno sa odgovarajućim obrascima, predstavljaju veliku količinu regulative koju korisnici treba da poznaju, kako bi se ponašali u skladu sa

zakonom. Stiče se utisak da je potrebno u svakom preduzeću zadužiti osobu koja bi se bavila regulativom i dokumentacijom koja prati ovu vrstu opasnog otpada. Broj dokumenata u zemljama Evropske unije koja regulišu upravljanje otpadnim uljima je četiri. Svaka zemlja članica može dodatno da uredi ovu oblast, što podrazumeva još jedan dodatni dokument.

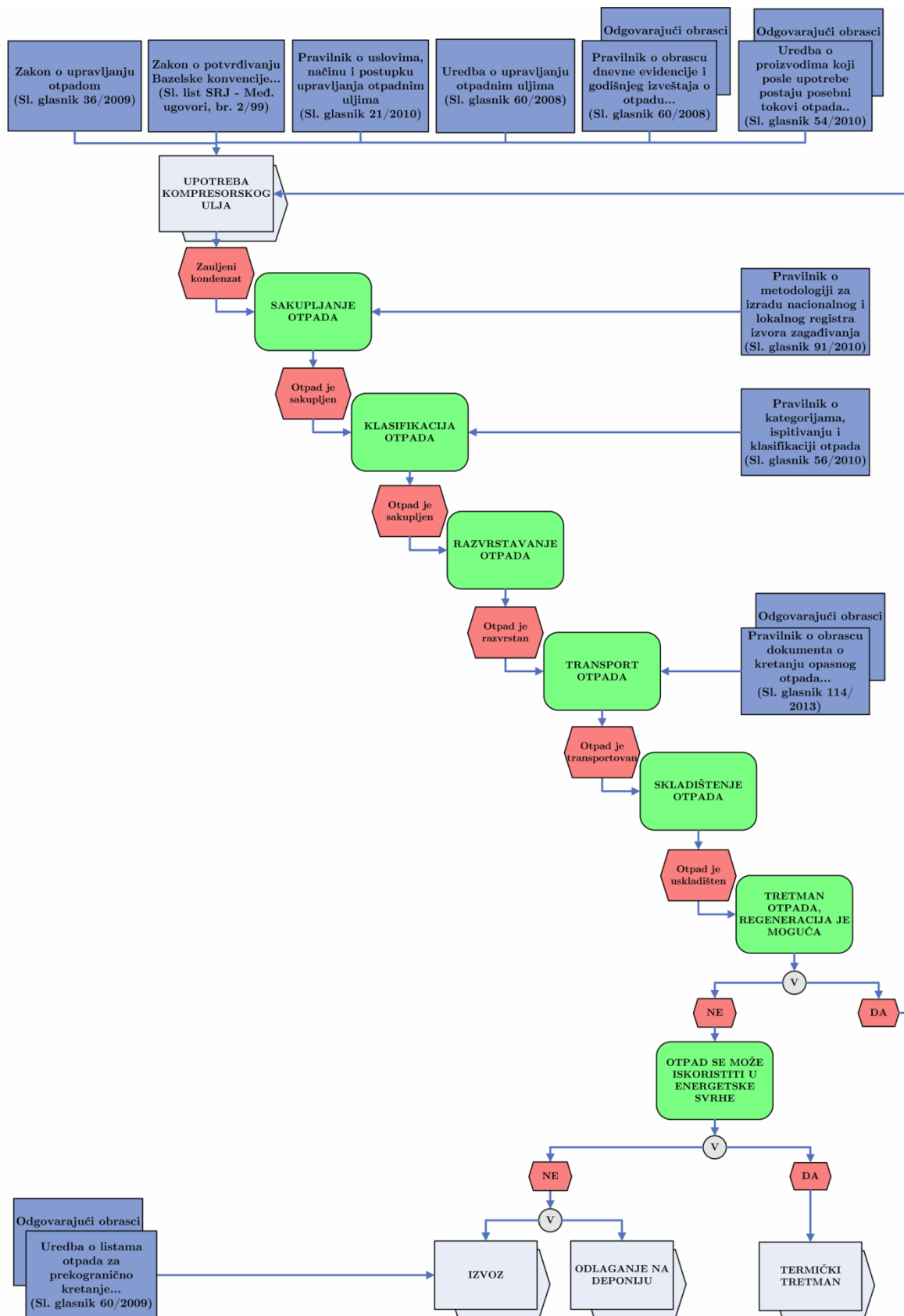
Iz gore navedenog teksta sledi preporuka državnim organima da regulativu racionalizuje u manji broj dokumenata i približi je običnim korisnicima.

Dok se to ne desi, postojanje neke vrste uputstva za upravljanje otpadnim uljima bi bilo od pomoći krajnjim korisnicima. U skladu sa tim, predložen je nov algoritam upravljanja otpadnim uljima (slika 44), predstavljen u skladu sa EPC metodologijom. Pored koraka koje je potrebno sprovesti u postupku upravljanja otpadnim uljima, dat je i pregled odgovarajućih dokumenata koje je potrebno poštovati u svakom od koraka.

Kao što se može videti na predstavljenom algoritmu, šest dokumenata je potrebno poznavati tokom celog životnog ciklusa ulja. To su dokumenta data na samom vrhu algoritma, odnosno prvih šest dokumenata iz prethodnog spiska.

U ostalim koracima, osim pomenutih dokumenata, potrebno je poštovati i dodatne propise, koji su takođe predstavljeni na algoritmu.

I treća, ali ne manje značajna zamerka je prelaz nadležnosti oblasti zaštite životne sredine iz jednog ministarstva u drugo. Prebacivanje nadležnosti nad zaštitom životne sredine od jednog do drugog ministarstva, unosi konfuziju kod korisnika ulja. Takođe se relevantna dokumenta prebacuju sa jedne na drugu web adresu, pa se gubi doslednost i kontinuitet. U periodu 2007-2008. godine čak je i postojalo Ministarstvo zaštite životne sredine, koje je potom preraslo u Ministarstvo zaštite životne sredine i prostornog planiranja. Danas je ova oblast pod nadležnošću Ministarstva rudarstva i energetike.



Slika 44. Algoritam upravljanja odpadnim uljima

Poglavlje 5

Zaključci i pravci daljih istraživanja

Smanjenje potrošnje fosilnih goriva, manja emisija gasova koji izazivaju efekat staklene bašte i smanjenje emitovanja zagađujućih materija u vazduh, zemljište i vodu, kao i povećanje udela obnovljivih izvora energije su od suštinskog značaja za održivi razvoj. U skladu sa tim, neophodno je proizvodnju organizovati na održiv način, odnosno način koji zadovoljava te zahteve.

Principe održivosti, treba primenjivati i u sistemima vazduha pod pritiskom, i to na način koji će:

- povećati energetske efikasnosti sistema vazduha pod pritiskom,
- obezbediti potreban kvalitet vazduha pod pritiskom,
- omogućiti odlaganje kondenzata sistema vazduha pod pritiskom bez štetnog dejstva na životnu sredinu.

Ukoliko bi se smanjio pad pritiska koji se javlja na filterima, uz poštovanje zahtevanog kvaliteta vazduha pod pritiskom, smanjila bi se i ukupna količina proizvedenog vazduha pod pritiskom, što bi skratilo vreme rada kompresora, odnosno broj utrošenih kWh.

Osnovni zadatak ove doktorske disertacije je sistemsko sagledavanje rada filtera vazduha pod pritiskom, u različitim kombinacijama i različito povezanim, uz obezbeđenje zahtevanog kvaliteta vazduha pod pritiskom, kako bi se utvrdila najbolja varijanta filtera iz aspekta održive proizvodnje.

Drugi zadatak je utvrđivanje smernica za upravljanje kondenzatom iz sistema na održivi način.

U prvom delu istraživanja su prikazane mogućnosti korišćenja različitog broja filtera vazduha pod pritiskom, kao i način njihovog postavljanja na cevovode u sistemu, što se razlikuje od tradicionalnog načina izbora filtera, koji podrazumeva izbor prvog većeg odgovarajućeg filtera po protoku, iz kataloga proizvođača.

Na osnovu rezultata istraživanja zaključeno je da nije svejedno da li se na cevovod vazduha pod pritiskom postavlja jedan filter ili dva, odnosno tri paralelno vezana filtera, uzimajući u obzir nominalni protok odabranog filtera. U skladu sa tim moguće je, odgovarajućom upotrebom određenog broja filtera i načinom njihovog povezivanja, smanjiti pad pritiska u sistemu za distribuciju vazduha pod pritiskom, uz istovremeno obezbeđenje odgovarajućeg kvaliteta vazduha pod pritiskom.

Pored analize troškova instalacije i eksploatacije razmatranih varijanti koalescentnih filtera tokom životnog ciklusa, uveden je i dodatni kriterijum pouzdanosti koji bi trebalo da pomogne pri donošenju konačne odluke o korišćenju filtera.

Na taj način su formirane nove preporuke za energetski efikasno projektovanje sistema vazduha pod pritiskom.

U drugom delu istraživanja je eksperimentalno utvrđen sastav kondenzata i kreiran je novi algoritam koji jasno, nedvosmisleno i jednostavno definiše korake koji se moraju sprovesti kako bi se kondenzat iz sistema vazduha pod pritiskom odložio na način bezopasan po životnu sredinu, u skladu sa zakonskim i podzakonskim aktima Republike Srbije koje treba konsultovati u tom procesu. Cilj je olakšati snalaženje u velikom broju akata koje treba poznavati i poštovati kako bi se kondenzat adekvatno tretirao, što je preduslov za normalan, bezbedan i po okolinu bezopasan način rada svakog industrijskog sistema.

Pored toga, očekivani efekat disertacije je i podizanje svesti proizvodnih organizacija da ulaganja u analizu i optimizaciju sistema vazduha pod pritiskom ne predstavljaju gubitke ili dodatne troškove, već naprotiv, mogućnost za povećanje efikasnosti i održivosti proizvodnog procesa. Svest učesnika u industrijskim procesima treba da počiva na važnosti optimalnog korišćenja raspoloživih resursa i efekata koje održiva proizvodnja izaziva.

Mogućnosti primene očekivanih rezultata

Primena navedenih rezultata moguća je u svim industrijskim postrojenjima u kojima postoji sistem vazduha pod pritiskom, počevši od najprostijih sistema sa jednim kompresorom i jednim filterom vazduha pod pritiskom, pa do velikih sistema, sa kompresorskim stanicama sastavljenim od više kompresora, i više filtera koji zadovoljavaju različite zahteve za klasama kvaliteta vazduha pod pritiskom definisanih od strane potrošača.

Primena rezultata, dobijenih ovim istraživanjima, treba da doprinese:

- povećanju energetske efikasnosti sistema za pripremu vazduha pod pritiskom,
- smanjenju pada pritiska, a samim tim i potrošnje električne energije u sistemu,
- povećanju pouzdanosti sistema vazduha pod pritiskom, kroz primenu većeg broja filtera manjeg kapaciteta, a samim tim i poboljšavanju performansi proizvodnih sistema,

- povećanju radnog veka filtera vazduha pod pritiskom,
- povećanju svesti o značaju kvaliteta vazduha pod pritiskom,
- postavljanju smernica za uvođenje prakse efikasnog upravljanja kondenzatom i
- poboljšanju načina korišćenja filtera vazduha pod pritiskom u skladu sa principima održive proizvodnje, pre svega vodeći računa o očuvanju životne sredine.

Pravci daljih istraživanja

Dalja istraživanja će uključiti deo za proizvodnju vazduha pod pritiskom, u smislu smanjenja potrošnje električne energije u zavisnosti od odabranog broja i načina povezivanja filtera, kao i optimalnog radnog pritiska u sistemu.

Aktivnosti u okviru daljeg rada obuhvataće i ukazivanje nadležnim institucijama na komplikovane procedure i veliki broj akata u postupcima upravljanja otpadnim uljima, sa ciljem da se pokrene inicijativa za pojednostavljenje procedura ili barem uvrštavanja predloženog algoritma za upravljanje otpadnim uljima u uputstva u publikacijama Agencije za zaštitu životne sredine.

U daljim istraživanjima, predloženi *Algoritam upravljanja otpadnim uljima*, biće prerađen u dijagram toka procesa, sa prikazom obrazaca koji predstavljaju izlaz iz pojedinačnih faza procesa.

Takođe, biće pokrenuta inicijativa za svrstavanje pada pritiska na filterima vazduha pod pritiskom u grupu indikatora životne sredine (*EPI - Environmental Performance Indicators*), podgrupe smanjenje potrošnje energije (EN6). Ovo će naročito biti vidljivo kada kompanije u našoj zemlji počnu da prave godišnje izveštaje održivosti, kao što to rade kompanije u razvijenim zemljama.

Literatura

- Agencija za zaštitu životne sredine. (2012), *Posebni tokovi otpada u Republici Srbiji u 2012. godini*, Beograd, Srbija.
- Allen, D. (2004), “An industrial ecology: material flows and engineering design”, in Azapagic, A., Perdan, S. and Clift, R. (Eds.), *Sustainable development in practice: case studies for engineers and scientists*, John Willey & Sons, Ltd, New York, USA.
- Barber, A. (1997), *Pneumatic handbook, 8th Edition*, Elsevier Advanced Technology, Oxford, UK.
- Benghanem, M. (2009), “Measurement of meteorological data based on wireless data acquisition system monitoring”, *Applied energy*, Vol. 86 No. 12, pp. 2651–2660.
- CompAir. (2007), *CompAir fluid force 2000hr warranty vane lubricant, Material safety data sheet*, Bradford, UK.
- Council of Europe. (1975), *Council directive of 16 June 1975 on the disposal of waste oils*, Luxembourg, Luxembourg.
- Council of Europe. (2008), *Directive 2008/98/EC of the European parliament and of the council of 19 November 2008 on waste and repealing certain directives*, Strasbourg, France.
- Council of Europe. (2013), “Regulation (EC) No 1013/2006 of the European Parliament and of the Council of 14 June 2006 on Shipments of Waste”, Strasbourg, France.
- Danfoss. (2007), *Pressure transmitter for industrial applications type MBS 3000, data sheet*, Nordborg, Denmark.
- Devki Energy Consultancy Pvt. Ltd. (2006), *Fluid piping systems, Best practice manual*, Vadodara, India.
- Domnick Hunter. (2005), *High quality compressed air from generation to application - A guide to ISO 8573.1:2001 air quality classes*, Cleveland, USA.
- Domnick Hunter. (2007), *High quality compressed air - A guide to the ISO 8573 series compressed air quality standard*, Cleveland, USA.
- Dräger. (2011a), *Water vapor 5/a-P*, Dräger, Lübeck, Germany.

- Dräger. (2011b), *Oil 10/a-P*, Dräger, Lübeck, Germany.
- Dräger. (2011c), *Oil mist 1/a*, Dräger, Lübeck, Germany.
- Dudić, S. (2012), *Prilog razvoju sistemskog prilaza povećanju energetske efikasnosti automatizovanih sistema vazduha pod pritiskom*, doktorska disertacija, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad.
- Dudić, S., Ignjatović, I., Šešlija, D., Blagojević, V. and Stojiljković, M. (2012a), “Leakage quantification of compressed air using ultrasound and infrared thermography”, *Measurement*, Vol. 45 No. 7, pp. 1689–1694.
- Dudić, S., Ignjatović, I., Šešlija, D., Blagojević, V. and Stojiljković, M. (2012b), “Leakage quantification of compressed air on pipes”, *Thermal science*, Vol. 16 No. 2, pp. 621–632.
- Dudić, S., Ignjatović, I., Šešlija, D., Golubović, Z. and Slavković, B. (2008), “Kvantifikacija gubitaka vazduha pod pritiskom na manipulatoru staklenih boca”, *Zbornik radova 31. kongresa sa međunarodnim učešćem o hidropneumatskoj automatizaciji - HIPNEF 2008*, Univerzitet u Nišu, Mašinski fakultet, 15-17 oktobar, Vrnjačka banja, Srbija, pp. 147–152.
- Dudić, S., Šešlija, D. and Ignjatović, I. (2008), “Determination of influence of dirty filters on pressure drop in compressed air system”, *Proceedings of 14th International scientific conference on industrial systems - IS'08*, University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Department of Industrial Engineering and Management, 2-3 October, Novi Sad, Serbia, pp. 161–166.
- DuPont. (2013), *2013 Global reporting initiative report*, Wilmington, USA.
- Elliott, B. (2006), *Compressed air operations manual*, McGraw Hill, New York.
- EPA. (2002), *European waste catalogue and hazardous waste list*, EPA - Environmental Protection Agency, Wexford, Ireland.
- European Commission. (2014), “Waste”, available at:
<http://ec.europa.eu/environment/waste/index.htm> (accessed 20 May 2014).
- Favas, G. (2005), *End of service life indicator (ESLI) for respirator cartridges. Part I: Literature review*, Australian Government: Department of Defence, Defence Science and Technology Organisation, Victoria, Australia.
- Festo. (2006a), *Air Box type GHDA-FQ-M-FDMJ-A - Operating instructions*, Festo AG&Co. KG, Esslingen, Germany.
- Festo. (2006b), *Durchflusssensor - Flow sensor MS6-SFE*, Festo AG&Co. KG, Esslingen, Germany.
- Festo. (2007a), *Operating conditions and standards in pneumatics*, Festo AG&Co. KG, Esslingen, Germany.
- Festo. (2007b), *Durchfluss – sensor flow sensor SFE1-LF*, Festo AG&Co. KG, Esslingen, Germany.
- Festo. (2012a), *Reliable processes thanks to perfect compressed air preparation*, Festo AG&Co. KG, Esslingen, Germany.

- Festo. (2012b), *Filters LF/LFMA/LFMB/LFX/LFMBA, D series*, Festo AG&Co. KG, Esslingen, Germany.
- Festo. (2013), *Clearly classified compressed air quality from Festo*, Festo AG&Co. KG, Esslingen, Germany.
- Fraunhofer ISI. (2006), *Fact sheets compressed air*, Fraunhofer ISI - Institut für Systemtechnik u. Innovationsforschung, Karlsruhe, Germany.
- Fuchs, D. and Lorek, S. (2010), “Sustainability in the electricity production and consumption systems - a consumer’s perspective”, in Lebel, L., Lorek, S. and Daniel, R. (Eds.), *Sustainable production consumption systems*, Springer, New York, USA, pp. 79–97.
- GRI. (2013a), *G4 Sustainability reporting guidelines - Reporting principles and standard disclosures*, GRI - Global Reporting Initiative, Amsterdam, Netherlands.
- GRI. (2013b), *G4 Sustainability reporting guidelines - Implementation manual*, GRI - Global Reporting Initiative, Amsterdam, Netherlands.
- Gvozdenac, D. (2010), “Granice energetske efikasnosti”, *Zbornik radova druge regionalne konferencije Industrijska energetika i zaštita životne sredine u zemljama Jugoistočne Evrope - IEEP 2010*, 22-26. jun, Zlatibor, Srbija.
- Hamner, B.W. (1996), “What is the relationship among cleaner production, pollution prevention, waste minimization and ISO 14000?”, *Proceedings of the 1st Asian conference on cleaner production in the chemical industry*, 9-10 December, Taipei, Taiwan.
- Haub, C. and Kaneda, T. (2013), *2013 World population data sheet*, Washington, USA.
- IAEA. (2005), *Energy indicators for sustainable development: guidelines and methodologies*, IAEA - International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria.
- Ignjatović, I., Šešlija, D., Tarjan, L. and Dudić, S. (2012), “Wireless sensor system for monitoring of compressed air filters”, *Journal of scientific and industrial research*, Vol. 71 No. 5, pp. 334–340.
- Ignjatović, I., Tarjan, L., Dudić, S. and Šešlija, D. (2009), “Primena bežičnih tehnologija za nadzor kvaliteta vazduha pod pritiskom”, *Zbornik radova naučno-stručnog simpozijuma Informacione tehnologije - INFOTEH*, 18-20. mart, Srpsko Sarajevo, Bosna i Hercegovina, pp. 572–575.
- Ignjatović, I., Vasiljev, M. and Šešlija, D. (2011), “Energy effect of inappropriate dryer use in compressed air system-example of bad practice”, *Proceedings of 15th International scientific conference on industrial systems - IS’11*, University of Novi Sad, Faculty of Technical Sciences, Department of Industrial Engineering and Management, 14-16 October, Novi Sad, Serbia, pp. 110–113.
- INFOR. (2012), *ISO 50001: Are you ready for the new energy management standard?*, Alpharetta, USA.
- Ingersoll. (2004), *Air quality guide*, Ingersoll Rand, Wigan, UK.
- Institut za standardizaciju Srbije. (2012), *SRPS ISO 50001:2012*, Beograd, Srbija.

- ISO. (2001), “Compressed air — Part 1: Contaminants and purity classes”, *International Standard ISO 8573-1, 2nd Edition*, ISO copyright office, ISO - International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- ISO. (2010), “Compressed air — Part 1: Contaminants and purity classes”, *International Standard ISO 8573-1, 3rd Edition*, ISO copyright office, ISO - International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- Ivanović, G., Stanivuković, D. and Beker, I. (2010), *Pozdanost tehničkih sistema*, FTN izdavaštvo, Novi Sad, Srbija.
- IWR. (2012), *Global CO2 emissions rising to record levels in 2011*, IWR - Internationales Wirtschaftsforum Regenerative Energien, Muenster, Germany.
- Jankes, G. and Stamenić, M. (2009), “Energetska efikasnost i energetske indikatori”, *Priručnik za poboljšanje energetske efikasnosti i racionalnu upotrebu energije u industriji*, Inovacioni centar Mašinskog fakulteta u Beogradu, Mreža za energetske efikasnost u industriji Srbije, Beograd, Srbija.
- Kaeser. (2012), “Compressed air filters”, Kaeser Compressors Inc, Fredericksburg, USA.
- Kent, R. (2012), “Compressed air: optimize treatment and distribution to save energy”, *Plastics technology*, Vol. 58 No. 4, pp. 50–51.
- Kintner-Meyer, M. and Brambley, M. (2005), “Pros & Cons of wireless”, *ASHRAE Journal*, Vol. 44 No. 11, pp. 54–59.
- Krajnc, D. and Glavic, P. (2003), “Indicators of sustainable production”, *Clean technologies and environmental policy*, Vol. 5 No. 3-4, pp. 279–288.
- Marshall, R. (2012), “Optimization of single-unit compressed air systems”, *Energy engineering*, Vol. 109 No. 1, pp. 10–35.
- Moon, R. (2012), “Clean compressed air systems will aid reliability”, *International railway journal*, Vol. 52 No. 6, pp. 42–43.
- Moore, R. (2011), “Delivering compressed air purity”, *Filtration & Separation*, Vol. 48 No. 3, pp. 40–42.
- Mulder, K. (2006), *Sustainable development for engineers: A handbook and resource guide*, Greenleaf Publishing Limited, Sheffield, UK.
- Nilson, L., Persson, P.O., Rydén, L., Darozhka, S. and Zaliauskiene, A. (2007), *Cleaner production, technologies and tools for resource efficient production*, The Baltic University Press, Uppsala, Sweden.
- Norgren. (2005), *The Norgren guide to effective air preparation*, Littleton, USA.
- Parker Hannifin. (2009), *High quality compressed air for the food industry*, Gateshead, UK.
- Parker Hannifin. (2012), *Dryer products*, Richland, USA.
- PMS. (2009), *HandiLaz Mini particle counter*, PMS - Particle Measuring Systems, Boulder, USA.
- PMS. (2010), *HPD III High pressure diffuser*, PMS - Particle Measuring Systems, Boulder, USA.

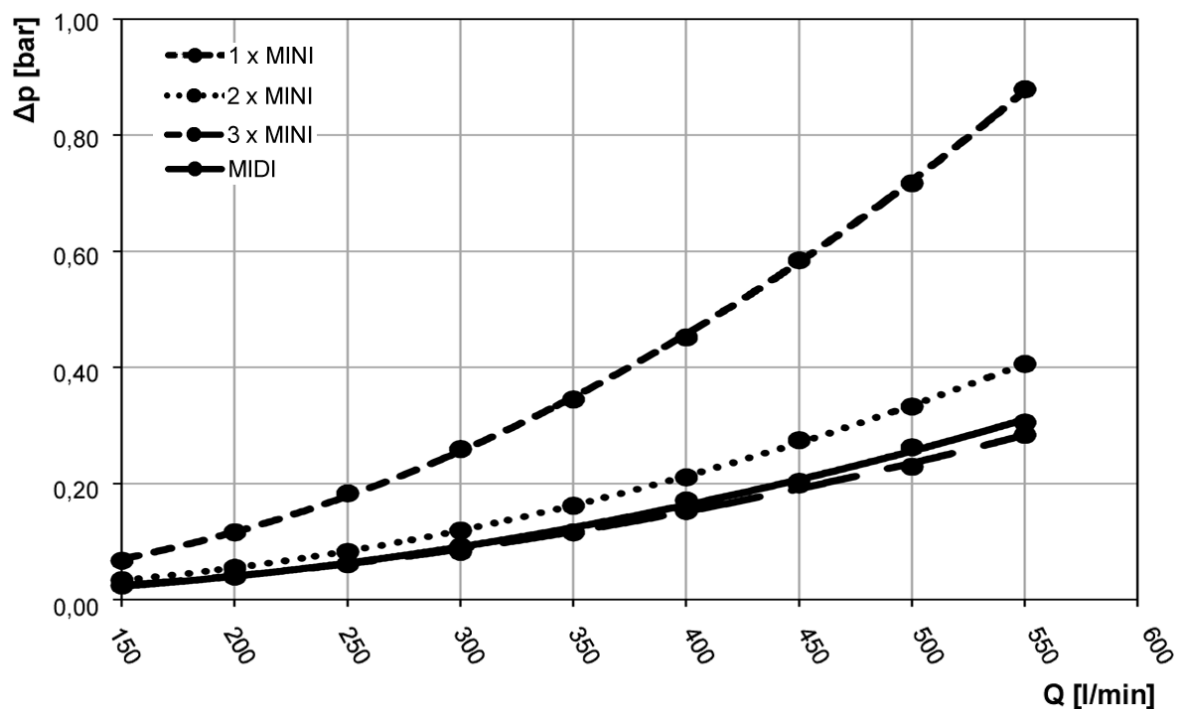
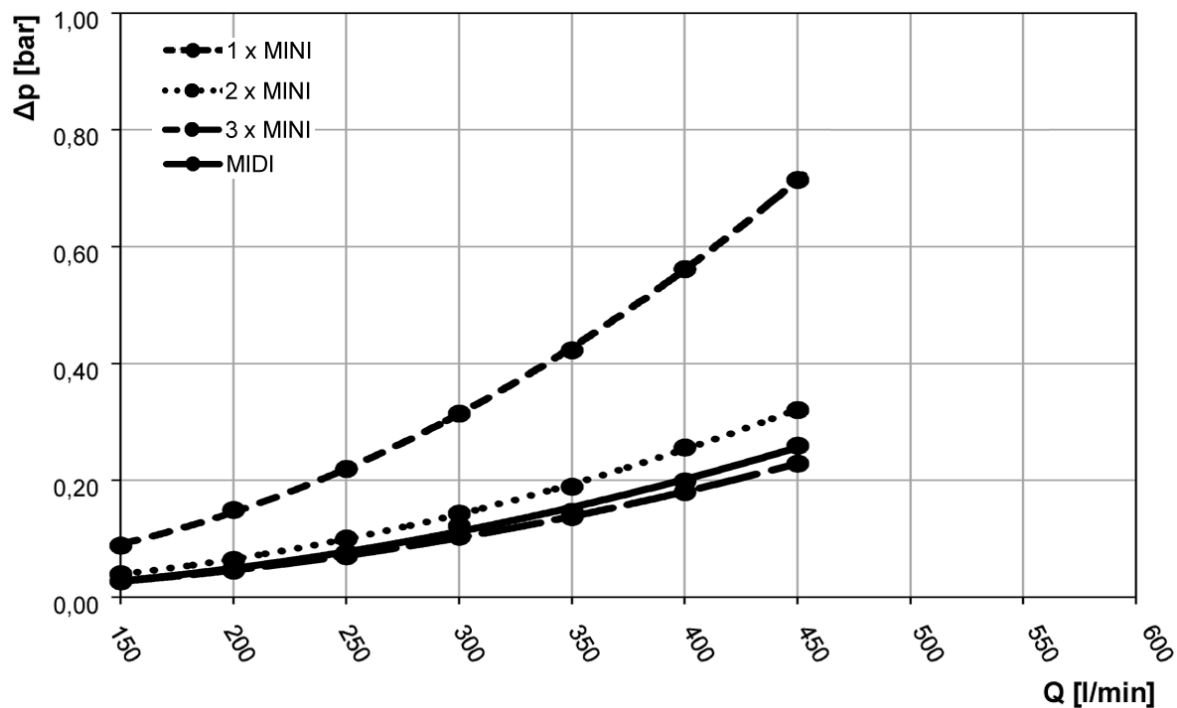
- Prašović, S., Martinović, S., Husika, A. and Knežević, A. (2009), “Energetska efikasnost i održivi razvoj”, in Jankes, G. (Ed.), *Priručnik za poboljšanje energetske efikasnosti i racionalnu upotrebu energije u industriji*, Inovacioni centar Mašinskog fakulteta u Beogradu, Mreža za energetska efikasnost u industriji Srbije, Beograd.
- Radgen, P. and Blaustein, E. (2001), *Compressed air aystems in the European Union, energy, emissions, savings potential and policy actions*, LOG_X Verlag GmbH, Stuttgart, Germany.
- Ramirez Harrington, D. (2013), “Effectiveness of state pollution prevention programs and policies”, *Contemporary economic policy*, Vol. 31 No. 2, pp. 255–278.
- Redžić, N., Đorđević, L., Dukić, I., Misajlovski, N. and Mihailović, L. (2010), *Katalog otpada, Uputstvo za određivanje indeksnog broja*, Agencija za zaštitu životne sredine, Beograd, Srbija.
- Republički zavod za statistiku. (2012), *Statistika otpada i upravljanje otpadom u Republici Srbiji, 2008–2010.*, Beograd, Srbija.
- Republika Srbija. (1989), *Zakon o potvrđivanju Bazelske konvencije o kontroli prekograničnog kretanja opasnih otpada i njihovom odlaganju (Službeni list SRJ - Međunarodni ugovori, br. 2/99)*, Beograd, Srbija.
- Republika Srbija. (2008), *Uredba o upravljanju otpadnim uljima (Službeni glasnik RS, br. 60/2008)*, Beograd, Srbija.
- Republika Srbija. (2009), *Zakon o upravljanju otpadom (Službeni glasnik RS, br. 36/2009)*, Beograd, Srbija.
- Republika Srbija. (2010a), *Pravilnik o kategorijama, ispitivanju i klasifikaciji otpada (Službeni glasnik RS, br. 56/2010)*, Beograd, Srbija.
- Republika Srbija. (2010b), *Uredba o listama otpada za prekogranično kretanje, sadržini i izgledu dokumenata koji prate prekogranično kretanje otpada sa uputstvima za njihovo popunjavanje (Službeni glasnik RS, br. 60/2009)*, Beograd, Srbija.
- Republika Srbija. (2010c), *Pravilnik o uslovima, načinu i postupku upravljanja otpadnim uljima (Službeni glasnik RS, br. 71/2010)*, Beograd, Srbija.
- Republika Srbija. (2010d), *Pravilnik o obrascu dnevne evidencije i godišnjeg izveštaja o otpadu sa uputstvom za njegovo popunjavanje (Službeni glasnik RS, br. 95/2010)*, Beograd, Srbija.
- Republika Srbija. (2010e), *Strategija upravljanja otpadom za period 2010-2019 (Službeni glasnik RS, br. 29/2010)*, Beograd, Srbija.
- Republika Srbija. (2012), *Uredba o graničnim vrednostima emisije zagađujućih materija u vode i rokovima za njihovo dostizanje (Službeni glasnik RS, br. 67/2011 i 48/2012)*, Beograd, Srbija.
- Republika Srbija. (2013), *Pravilnik o obrascu dokumenta o kretanju opasnog otpada (Službeni glasnik RS, br. 114/2013)*, Beograd, Srbija.
- Republika Srbija. (2014), *Uredba o proizvodima koji posle upotrebe postaju posebni tokovi otpada, obrascu dnevne evidencije o količini i vrsti proizvedenih i uvezenih proizvoda*

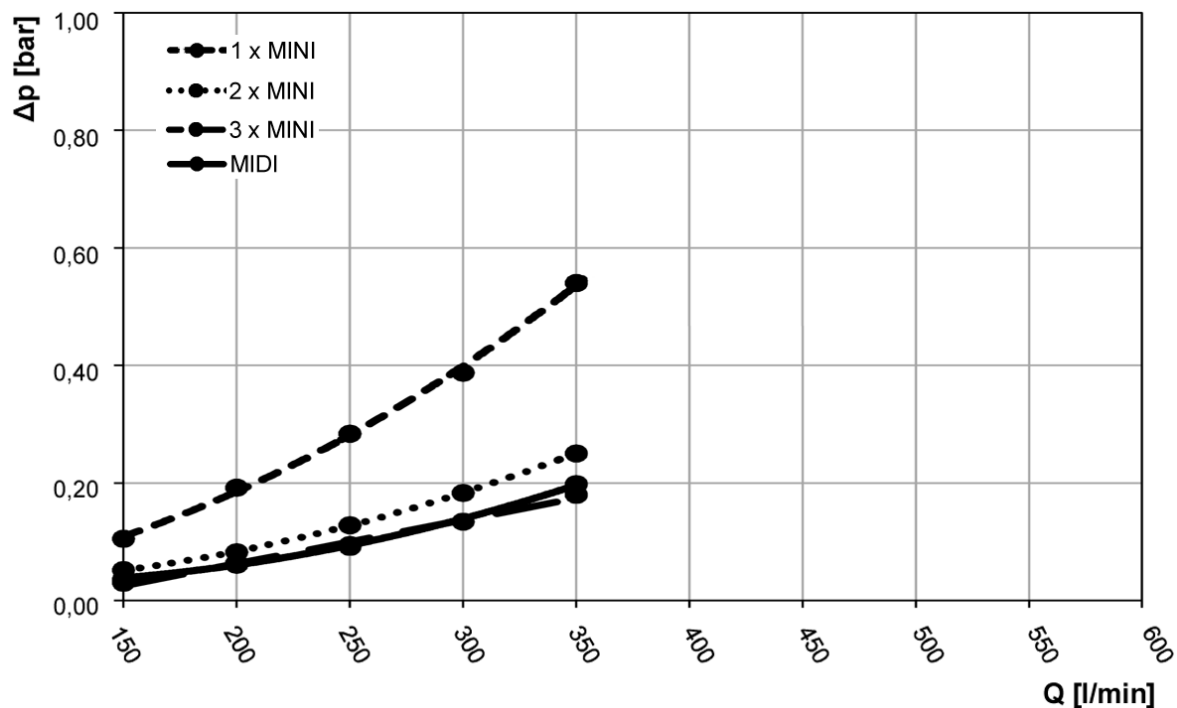
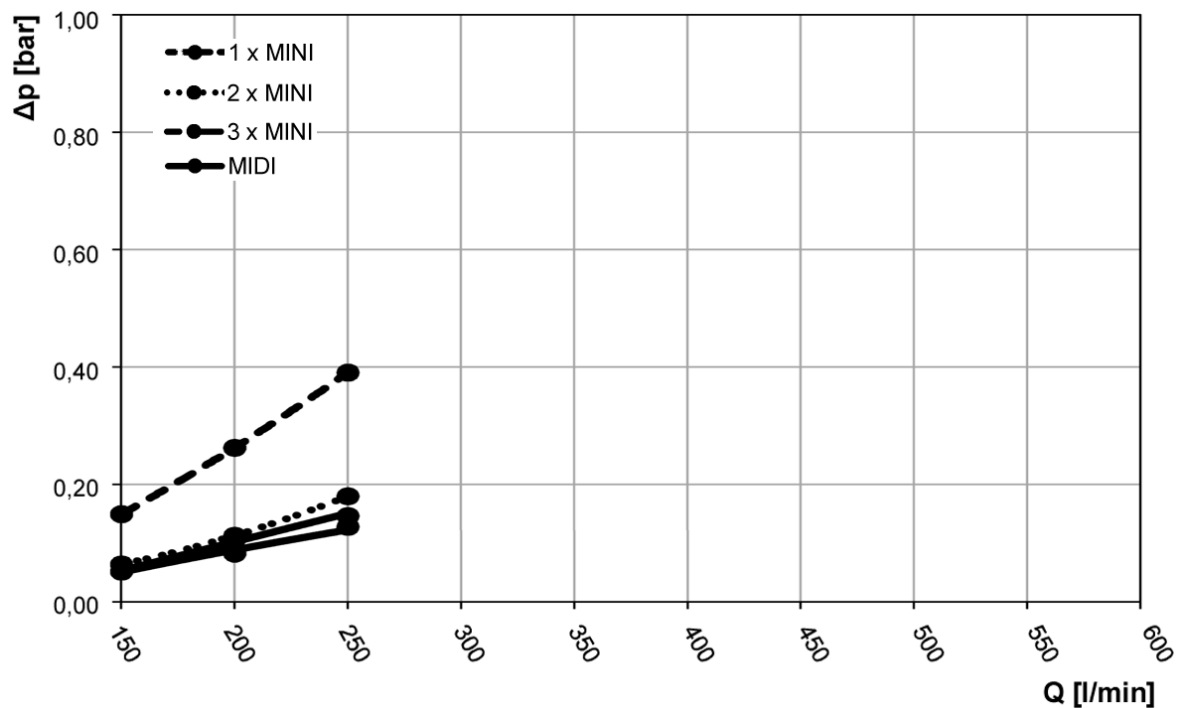
- i godišnjeg izveštaja, načinu i rokovima dostavljanja godišnjeg izveštaja, obveznicima plaćanja naknade*, Beograd, Srbija.
- Rozinov, A. (2006), “Physical evaluation of the efficiency of applying liquid indicators during leakproofness inspection”, *Russian journal of nondestructive testing*, Vol. 42 No. 8, pp. 551–557.
- Scales, B. and McCulloch, D. (2010), “Distribution piping - Understanding pressure drop”, *Compressed air best practices*, Vol. 2, pp. 37–45.
- State of California. (2014a), “Recycling/Disposal of used oil”.
- State of California. (2014b), “Health and safety code section 25250-25250.30”, available at: <http://www.leginfo.ca.gov/cgi-bin/displaycode?section=hsc&group=25001-26000&file=25250-25250.30>.
- Šešlija, D. (2002), *Proizvodnja, priprema i distribucija vazduha pod pritiskom*, Ikos, Novi Sad, Srbija.
- Šešlija, D. (2008), “Vodič za povećanje energetske efikasnosti pneumatskih sistema”, in Jankes, G. (Ed.), *Priručnik za poboljšanje energetske efikasnosti i racionalnu upotrebu energije u industriji*, Inovacioni centar Mašinskog fakulteta u Beogradu, Mreža za energetske efikasnost u industriji Srbije, Beograd, Srbija.
- Šešlija, D., Ignjatović, I. and Dudić, S. (2011), “Compressed air system structure and energy efficiency”, *Proceedings of 15th Symposium on thermal science and engineering of Serbia - SIMTERM*, University of Niš, Faculty of Mechanical Engineering Niš, 18-21 October, Soko Banja, Serbia, pp. 649–658.
- Šešlija, D., Ignjatović, I., Dudić, S. and Lagod, B. (2011), “Potential energy savings in compressed air systems in Serbia”, *African journal of business management*, Vol. 5 No. 14, pp. 5637–5645.
- Šešlija, D., Ignjatović, I., Tarjan, L. and Lekić, N. (2010), *Bežični sistem nadzora stanja filterskih uložaka u pneumatskim sistemima* (No. 1159), Zavod za intelektualnu svojinu RS, Beograd, Srbija.
- Šešlija, D., Ignjatović, I., Tarjan, L. and Marković, J. (2011), *Integrirani uređaj za daljinski nadzor pada pritiska na filterima vazduha pod pritiskom sa upotrebom dva manometra* (No. 1233), Zavod za intelektualnu svojinu RS, Beograd, Srbija, Srbija.
- Tronville, P. (2008), “Developing standards: Global standards for air cleaning equipment”, *Filtration & Separation*, Vol. 45 No. 9, pp. 28–31.
- United Nations. (1998), *Kyoto protocol to the United Nations framework*.
- US DOE. (2001), *Assessment of the market for compressed air efficiency services*, US DOE - US Department of Energy, Washington, USA.
- US DOE. (2003), *Improving compressed air system performance: A sourcebook for industry, 2003*, US DOE - US Department of Energy, Washington, USA.
- US EPA. (1980), *45 FR 33084 - Hazardous waste management system: identification and listing of hazardous waste, Federal register*, US EPA - United States Environmental Protection Agency, Washington, USA.

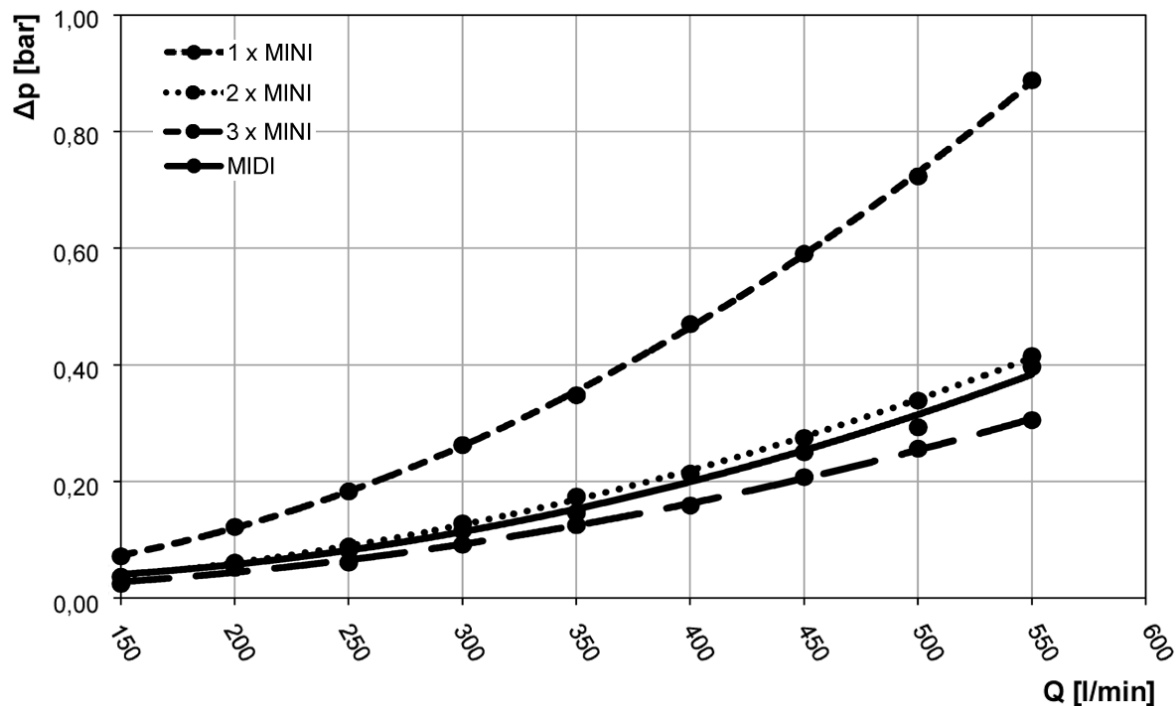
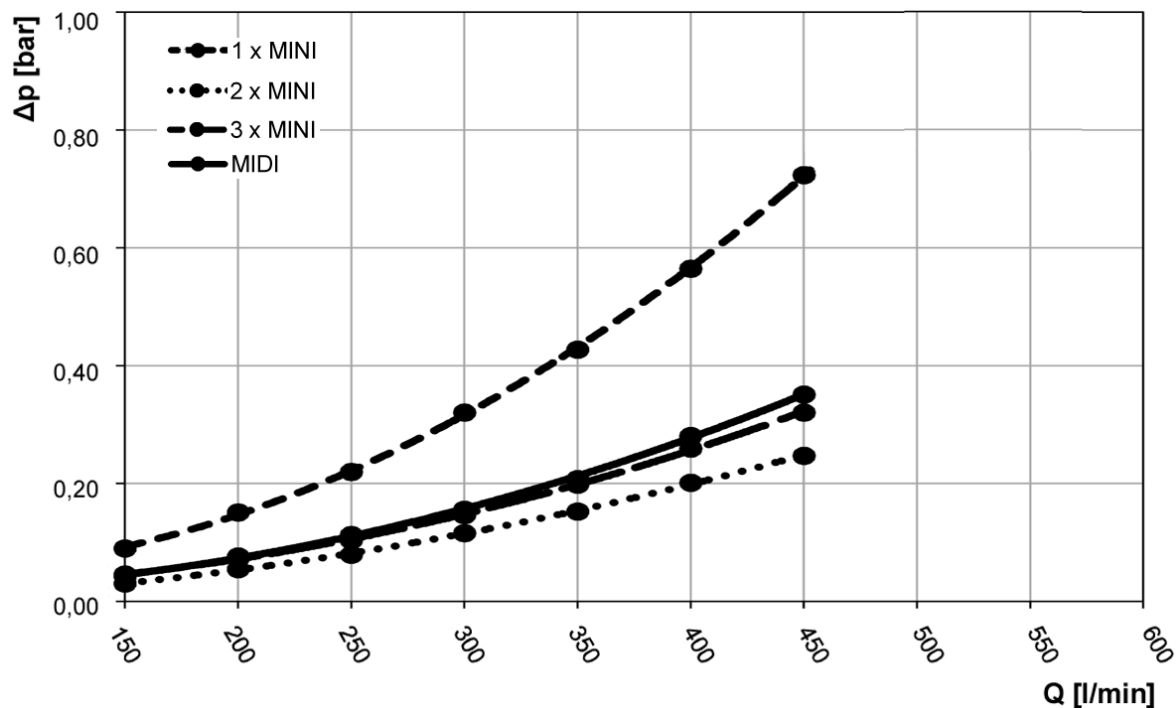
- US EPA. (1996), *Oil pollution prevention*, US EPA - United States Environmental Protection Agency, Washington, USA.
- US EPA. (2012), *Code of Federal Regulations: part 279 - Standards for the management of used oil*, US EPA - United States Environmental Protection Agency, Washington, USA.
- USA Congres. (1976), *Resource conservation and recovery act of 1976*, Washington, USA.
- Veleva, V. and Ellenbecker, M. (2001), “Indicators of sustainable production: framework and methodology”, *Journal of cleaner production*, Vol. 9 No. 6, pp. 519–549.
- WIKA. (2008), *Differential pressure gauges with integrated working pressure gauge model 702.01.100, WIKA Data Sheet PM 07.15*, Klingenberg, Germany.
- Wright, D. (2008), “Air filtration and efficiency: Cutting the cost of compressed air”, *Filtration & Separation*, Vol. 45 No. 9, pp. 32–34.
- Zhang, J. (1996), “Designing a cost effective and reliable pipeline leak detection system”, *Proceedings of Pipeline reliability conference*, 19-22 November, Houston, USA.

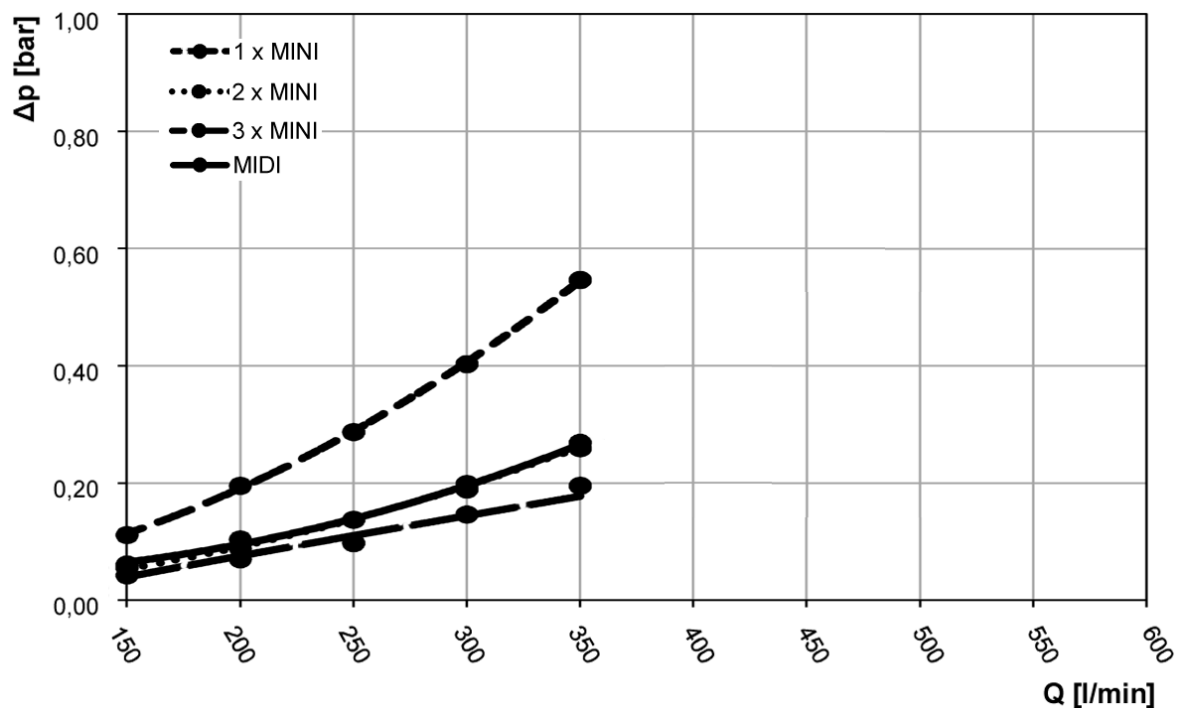
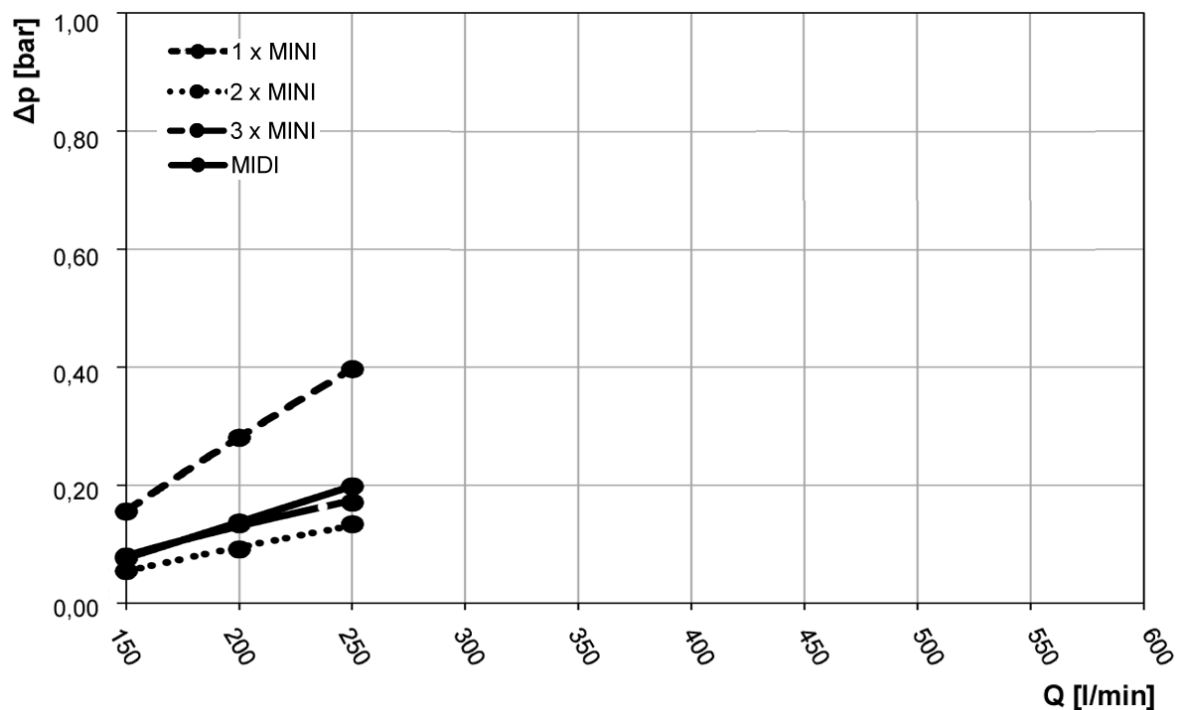
Prilozi

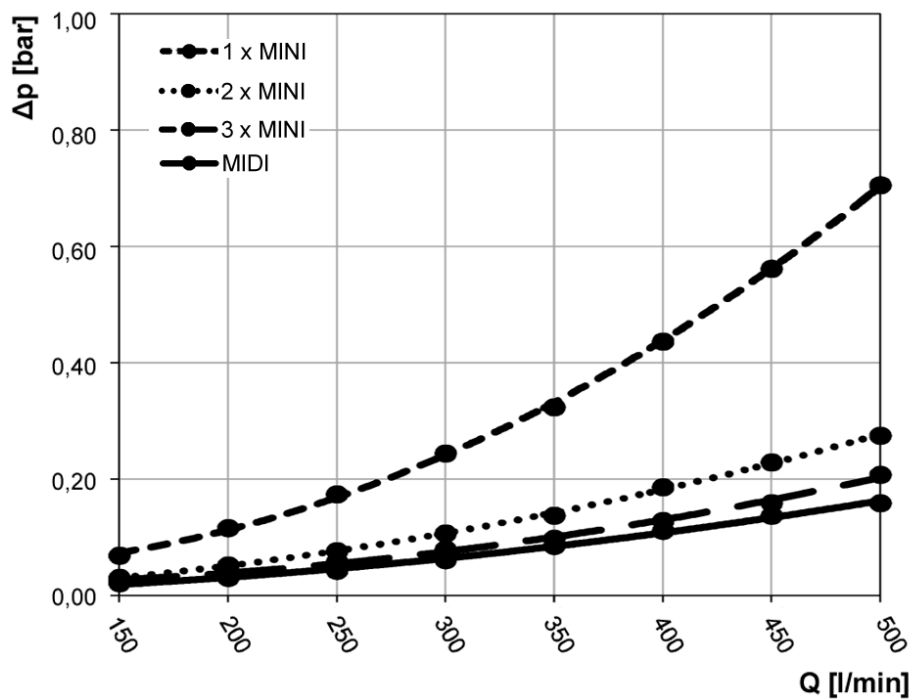
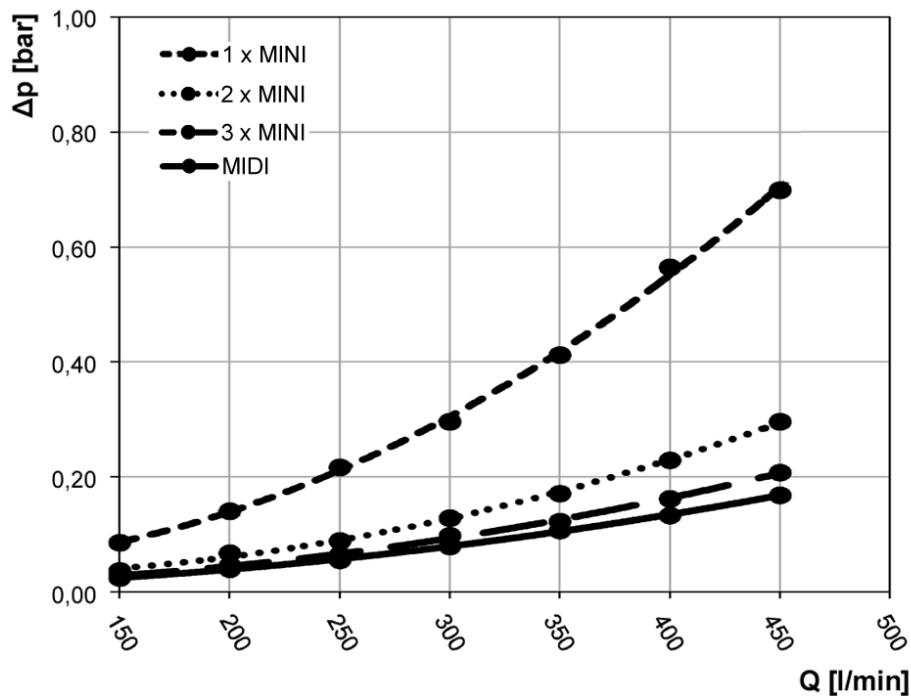
Prilog 1. Grafički prikaz svih rezultata merenja

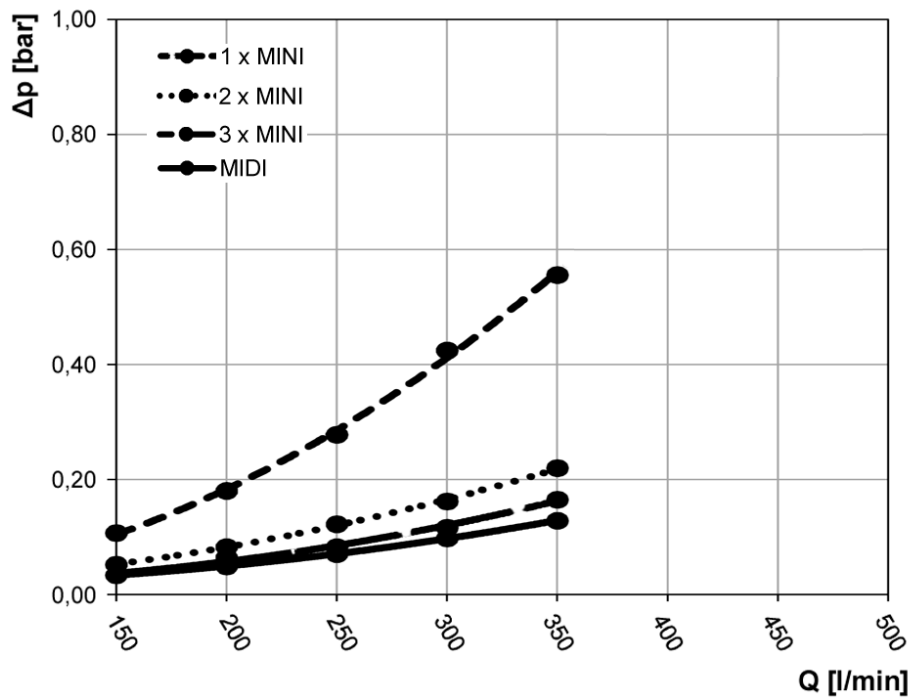
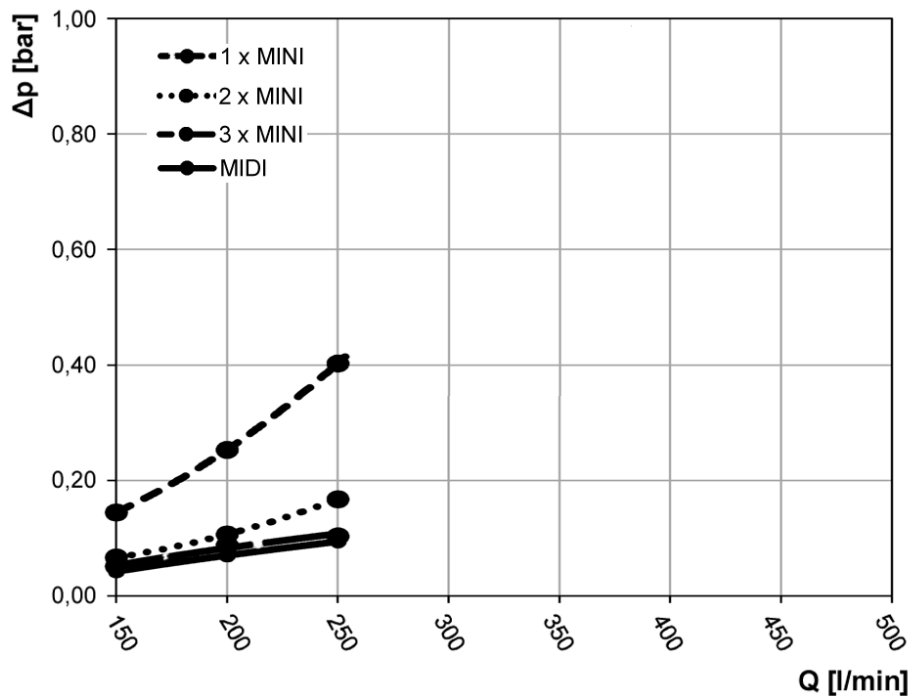
Slika P1. Pad pritiska na čestičnim filterima, stepena filtracije 40 μm , pri pritisku od 5 barSlika P2. Pad pritiska na čestičnim filterima, stepena filtracije 40 μm , pri pritisku od 4 bar

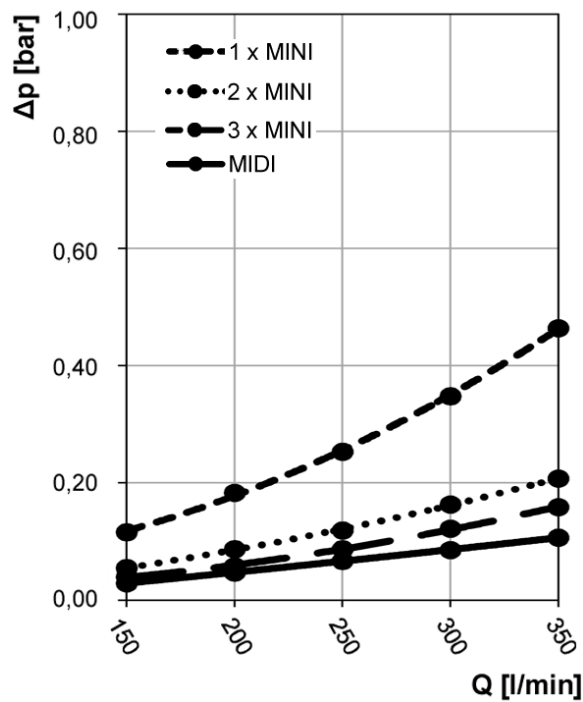
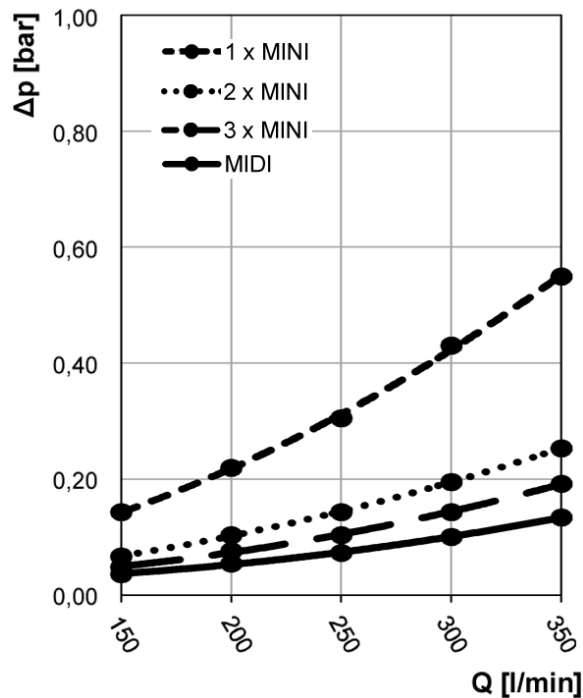
Slika P3. Pad pritiska na čestičnim filterima, stepena filtracije 40 μm , pri pritisku od 3 barSlika P4. Pad pritiska na čestičnim filterima, stepena filtracije 40 μm , pri pritisku od 2 bar

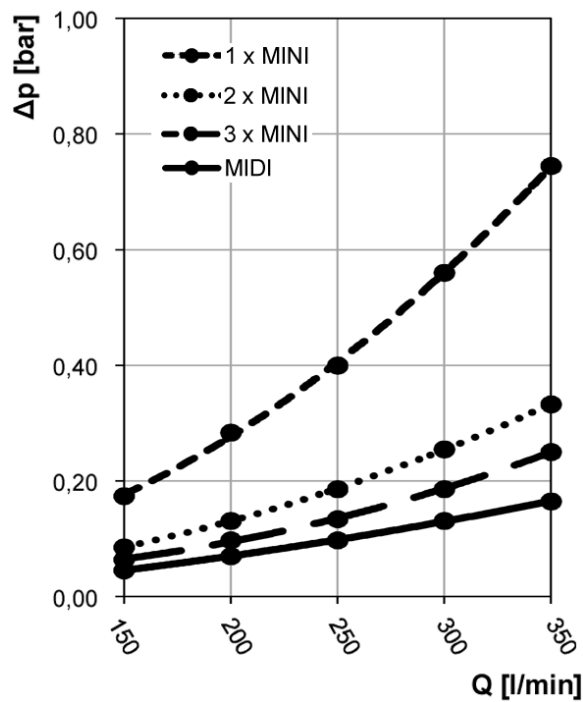
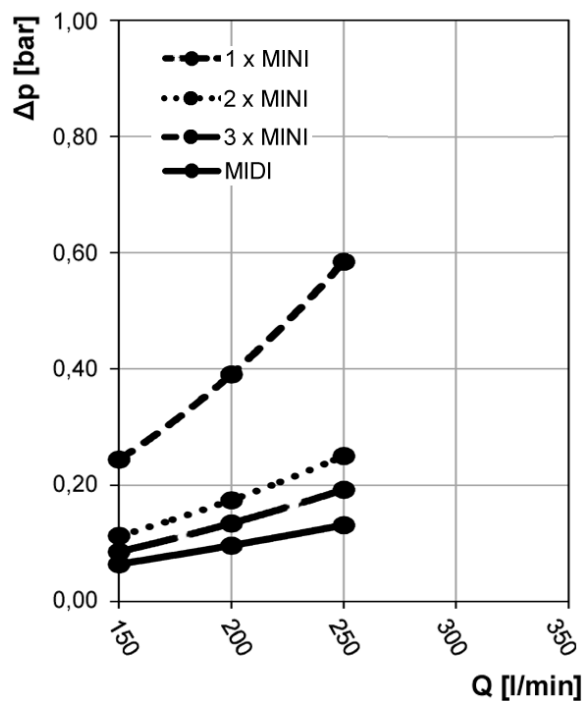
Slika P5. Pad pritiska na čestičnim filterima, stepena filtracije 5 μm , pri pritisku od 5 barSlika P6. Pad pritiska na čestičnim filterima, stepena filtracije 5 μm , pri pritisku od 4 bar

Slika P7. Pad pritiska na čestičnim filterima, stepena filtracije 5 μm , pri pritisku od 3 barSlika P8. Pad pritiska na čestičnim filterima, stepena filtracije 5 μm , pri pritisku od 2 bar

Slika P9. Pad pritiska na koalescentnim filterima, stepena filtracije 1 μm , pri pritisku od 5 barSlika P10. Pad pritiska na koalescentnim filterima, stepena filtracije 1 μm , pri pritisku od 4 bar

Slika P11. Pad pritiska na koalescentnim filterima, stepena filtracije 1 μm , pri pritisku od 3 barSlika P12. Pad pritiska na koalescentnim filterima, stepena filtracije 1 μm , pri pritisku od 2 bar

Slika P13. Pad pritiska na koalescentnim filterima, stepena filtracije 0,01 μm , pri pritisku od 5 barSlika P14. Pad pritiska na koalescentnim filterima, stepena filtracije 0,01 μm , pri pritisku od 4 bar

Slika P15. Pad pritiska na koalescentnim filterima, stepena filtracije 0,01 μm , pri pritisku od 3 barSlika P16. Pad pritiska na koalescentnim filterima, stepena filtracije 0,01 μm , pri pritisku od 2 bar

Prilog 2. Indeks Kataloga otpada

- 01 Otpadi koji nastaju u istraživanjima, iskopavanjima iz rudnika ili kamenoloma, i fizičkom i hemijskom tretmanu minerala
 - 02 Otpadi iz poljoprivrede, hortikulture, akvakulture, šumarstva, lova i ribolova, pripreme i prerade hrane
 - 03 Otpadi od prerade drveta i proizvodnje papira, kartona, pulpe, panela i nameštaja
 - 04 Otpadi iz kožne, krznarske i tekstilne industrije
 - 05 Otpadi od rafinisanja nafte, prečišćavanja prirodnog gasa i pirolitičkog tretmana uglja
 - 06 Otpadi od neorganske hemijske prerade
 - 07 Otpadi od organske hemijske prerade
 - 08 Otpadi od proizvodnje, formulacije, snabdevanja i upotrebe premaza (boje, lakovi i staklene glazure), lepkovi, zaptivači i štamparske boje
 - 09 Otpadi iz fotografske industrije
 - 10 Otpadi iz termičkih procesa
 - 11 Otpadi od hemijskog tretmana površine i zaštite metala i drugih materijala; hidrometalurgija obojenih metala
 - 12 Otpadi od oblikovanja i fizičke i mehaničke površinske obrade metala i plastike
 - 13 Otpadi od ulja i ostataka tečnih goriva (osim jestivih ulja i onih u poglavljima 05, 12 i 19)
 - 14 Otpadni organski rastvarači, sredstva za hlađenje i potisni gasovi (osim 07 i 08)
 - 15 Otpad od ambalaže, apsorbenti, krpe za brisanje, filterski materijali i zaštitne tkanine, ako nije drugačije specificirano
 - 16 Otpadi koji nisu drugačije specificirani u katalogu
 - 17 Građevinski otpad i otpad od rušenja (uključujući i iskopanu zemlju sa kontaminiranih lokacija)
 - 18 Otpadi od zdravstvene zaštite ljudi i životinja i/ili s tim povezanog istraživanja (isključujući otpad iz kuhinja i restorana koji ne dolazi od neposredne zdravstvene zaštite)
 - 19 Otpadi iz postrojenja za obradu otpada, pogona za tretman otpadnih voda van mesta nastajanja i pripremu vode za ljudsku potrošnju i korišćenje u industriji
 - 20 Komunalni otpadi (kućni otpad i slični komercijalni i industrijski otpadi), uključujući odvojeno sakupljene frakcije
-

Prilog 3. Grupe 12 i 13 Kataloga otpada

12	OTPADI OD OBLIKOVANJA I FIZIČKE I MEHANIČKE POVRŠINSKE OBRADE METALA I PLASTIKE
12 01	otpadi od oblikovanja i fizičke i mehaničke površinske obrade metala i plastike
12 01 01	struganje i obrada ferometala
12 01 02	prašina i čestice ferometala
12 01 03	struganje i obrada obojenih metala
12 01 04	prašina i čestice obojenih metala
12 01 05	obrada plastike
12 01 06*	mineralna mašinska ulja koja sadrže halogene (izuzev emulzija i rastvora)
12 01 07*	mineralna mašinska ulja koja ne sadrže halogene (izuzev emulzija i rastvora)
12 01 08*	mašinske emulzije i rastvori koje sadrže halogene
12 01 09*	mašinske emulzije i rastvori koje ne sadrže halogene
12 01 10*	sintetička mašinska ulja
12 01 12*	potrošeni vosak i masti
12 01 13	otpadi od zavarivanja
12 01 14*	mašinski muljevi koji sadrže opasne supstance
12 01 15	mašinski muljevi drugačiji od onih navedenih u 12 01 14
12 01 16*	otpadi od gorivih materijala koji sadrži opasne supstance
12 01 17	otpadi od gorivih materijala drugačiji od onog navedenog u 12 01 16
12 01 18*	metalni muljevi (od mlevenja, brušenja i oštrenja) koji sadrži ulje
12 01 19*	odmah biorazgradivo mašinsko ulje
12 01 20*	potrošena tela za mlevenje i materijali za mlevenje koji sadrže opasne supstance
12 01 21	potrošena tela za mlevenje i materijali za mlevenje drugačiji od onih navedenih u 12 01 20
12 01 99	otpadi koji nisu drugačije specificirani
12 03	otpadi iz procesa odmašćivanja vodom i parom (izuzev 11)
12 03 01*	tečnosti za pranje na bazi vode
12 02 02*	otpadi od odmašćivanja parom
13	OTPADI OD ULJA I OSTATAKA TEČNIH GORIVA (OSIM JESTIVIH ULJA I ONIH U POGLAVLJIMA 05, 12 I 19)
13 01	otpadna hidraulična ulja
13 01 01*	hidraulična ulja koja sadrže PCB
13 01 04*	hlorovane emulzije
13 01 05*	nehlorovane emulzije
13 01 09*	mineralna hlorovana hidraulična ulja
13 01 10*	mineralna nehlorovana hidraulična ulja
13 01 11*	sintetička hidraulična ulja
13 01 12*	odmah biorazgradiva hidraulična ulja
13 01 13*	ostala hidraulična ulja

13 02	otpadna motorna ulja, ulja za menjače i podmazivanje
13 02 04*	mineralna hlorovana motorna ulja, ulja za menjače i podmazivanje
13 02 05*	mineralna nehlorovana motorna ulja, ulja za menjače i podmazivanje
13 02 06*	sintetička motorna ulja, ulja za menjače i podmazivanje
13 02 07*	odmah biorazgradiva motorna ulja, ulja za menjače i podmazivanje
13 02 08*	ostala motorna ulja, ulja za menjače i podmazivanje
13 03	otpadna ulja za izolaciju i prenos toplote
13 03 01*	ulja za izolaciju i prenos toplote koja sadrže PCB
13 03 06*	mineralna hlorovana ulja za izolaciju i prenos toplote drugačija od onih navedenih u 13 03 01
13 03 07*	mineralna nehlorovana ulja za izolaciju i prenos toplote
13 03 08*	sintetička ulja za izolaciju i prenos toplote
13 03 09*	odmah biorazgradiva ulja za izolaciju i prenos toplote
13 03 10*	ostala ulja za izolaciju i prenos toplote
13 04	brodska ulja
13 04 01*	ulja sa dna brodova iz rečne plovidbe
13 04 02*	ulja sa dna brodova iz kanalizacije na pristaništu
13 04 03*	ulja sa dna brodova iz ostale vrste plovidbe
13 05	sadržaj separatora ulje/voda
13 05 01*	čvrste materije iz peskolova i separatora ulje/voda
13 05 02*	muljevi iz separatora ulje/voda
13 05 03*	muljevi od hvatača ulja
13 05 06*	ulja iz separatora ulje/voda
13 05 07*	zauljena voda iz separatora ulje/voda
13 05 08*	mešavine otpada iz komore za otpad i separatora ulje/voda
13 07	otpadi od tečnih goriva
13 07 01*	pogonsko gorivo i dizel
13 07 02*	benzin
13 07 03*	ostala goriva (uključujući mešavine)
13 08	otpadna ulja koja nisu drugačije specificirana
13 08 01*	muljevi ili emulzije od desalinacije
13 08 02*	ostale emulzije
13 08 99*	otpadi koji nisu drugačije specificirani

Prilog 4. H lista - Karakteristike otpada koje ga čine opasnim

- H 1 "Eksplozivan": supstance i preparati koji mogu eksplodirati pod dejstvom plamena ili koji su više osjetljivi na udare ili trenje od dinitrobenzena
- H 2 "Oksidirajući": supstance i preparati koji izazivaju visoko egzotermne reakcije u kontaktu sa drugim supstancama, posebno sa zapaljivim supstancama
- H 3-A "Visoko zapaljiv":
- 0 tečne supstance i preparati koji imaju tačku paljenja ispod 21°C uključujući veoma zapaljive tečnosti, ili
 - 1 supstance i preparati koji se mogu zagrevati i konačno zapaliti u kontaktu sa vazduhom na temperaturi okoline bez bilo kakvog izvora energije, ili
 - 2 čvrste supstance i preparati koji se mogu lako zapaliti posle kratkog kontakta sa izvorom paljenja i koji nastavljaju da gore ili budu istrošeni nakon uklanjanja izvora paljenja, ili
 - 3 gasovite supstance i preparati koji su zapaljivi na vazduhu pri normalnom pritisku, ili
 - 4 supstance i preparati koji u kontaktu sa vodom ili vlažnim vazduhom, razvijaju visoko zapaljive gasove u opasnim količinama
- H 3-B "Zapaljiv": tečne supstance i preparati koji imaju tačku paljenja jednaku ili veću od 21°C i manju ili jednaku 55°C
- H 4 "Nadražujući (iritantan)": supstance i preparati koji nisu korozivni i koji kroz neposredan, odložen ili ponovljen kontakt sa kožom ili sluzokožom, mogu prouzrokovati zapaljenje
- H 5 "Štetan (opasan)": supstance i preparati koji, ako se udišu ili gutaju ili ako prodiru kroz kožu, mogu uključiti ograničene rizike po zdravlje
- H 6 "Otrovan": supstance i preparati (uključujući veoma toksične supstance i preparate) koji, ako se udišu ili gutaju ili ako prodiru kroz kožu, mogu uključiti ozbiljne, akutne ili hronične rizike po zdravlje, i čak smrt
- H 7 "Karcinogen": supstance i preparati koji, ako se udišu ili gutaju ili ako prodiru kroz kožu, mogu izazvati rak ili njegov porast
- H 8 "Korozivan": supstance i preparati koji mogu uništiti živo tkivo pri kontaktu
- H 9 "Infektivan": supstance i preparati koje sadrže mikroorganizme ili njihove toksine, koji su poznati ili se sumnja da izazivaju oboljenje kod čoveka ili drugih živih organizama
- H 10 "Toksičan za reprodukciju (teratogen)": supstance i preparati koji, ako se udišu ili gutaju ili ako prodiru kroz kožu, mogu izazvati nenasledne urođene nepravilnosti ili njihov porast
- H 11 "Mutagen": supstance i preparati koji, ako se udišu ili gutaju ili ako prodiru kroz kožu, mogu izazvati nasledne genetske nedostatke ili njihov porast
- H 12 Otpad koji oslobađa toksične ili veoma toksične gasove u kontaktu sa vodom, vazduhom ili kiselinom
- H 13* "Izaziva preosetljivost": supstance i preparati koji, ako se udišu ili ako prodiru kroz kožu, imaju sposobnost izazivanja reakcije preosetljivosti, tako da se daljim izlaganjem proizvode karakteristični negativni efekti
- H 14 "Ekotoksičan": otpad koji predstavlja ili može predstavljati neposredne ili odložene rizike za jedan ili više sektora životne sredine
- H 15 Otpad koji ima svojstvo da na bilo koji način, nakon odlaganja, proizvodi druge supstance, npr. izluževine, koje poseduju bilo koju navedenu karakteristiku (H1-H14)
-

* u zavisnosti od raspoloživih metoda testiranja