



**Dr Nermina Đulančić**



# **TEHNOLOGIJA CIGARETA**

---

Sarajevo, 2021.

**Dr Nermina Đulančić**

# **TEHNOLOGIJA CIGARETA**

**Sarajevo, 2021.**

AUTOR: Prof. dr Nermina Đulančić  
Univerzitet u Sarajevu, Poljoprivredno-prehrambeni fakultet, Sarajevo

NAZIV DJELA: Tehnologija cigareta  
IZDAVAČ: Univerzitet u Sarajevu  
ZA IZDAVAČA: Poljoprivredno-prehrambeni fakultet  
RECENZENTI: Prof. dr Muhamed Brka  
Prof. dr Miroslava Nikolić, Univerzitet u Beogradu,  
Poljoprivredni fakultet, Beograd-Zemun  
Prof. dr Vesna Radojičić, Univerzitet u Beogradu,  
Poljoprivredni fakultet, Beograd-Zemun

TEHNIČKI UREDNIK: Nermina Đulančić  
GRAFIČKI DIZAJN: Nermina Đulančić

---

CIP - Katalogizacija u publikaciji  
Nacionalna i univerzitetska biblioteka  
Bosne i Hercegovine, Sarajevo

663.974

**ĐULANČIĆ, Nermina**

Tehnologija cigareta / Nermina Đulančić. - Sarajevo : Poljoprivredno-prehrambeni fakultet, 2021

Način pristupa (URL):

<https://ppf.unsa.ba/uploads/ebiblioteka/TEHNOLOGIJA%20CIGARETA.pdf>. - El. knjiga. - Nasl. sa nasl. ekrana. - Opis izvora dana 30. 8. 2021. - Bibliografija i druge bilješke uz tekst.

ISBN 978-9958-597-74-9

COBISS.BH-ID 45161222

---

## Predgovor

*Ekonomski značaj duhanske privrede i potreba da se ova proizvodnja održi, uprkos zabranama i antipušačkom lobiju, podstakli su brojna naučna istraživanja u vezi sa svim oblastima proizvodnje, obrade i prerade duhana. To je dovelo i do razvoja novih tehnologija, naročito u posljednjih 30 godina, kako u proizvodnji duhana, tako i u njegovoј preradi, a posebno u proizvodnji cigareta.*

*Na žalost, u našoj zemlji, praćenje ovako brzog razvoja znatno je otežano, između ostalog i zbog nedostatka dobre i dokumentovane literature. Nadamo se da će objavljivanje ovog udžbenika tu „prazninu“ djelimično popuniti.*

*Knjiga obrađuje najnovija naučna saznanja iz oblasti tehnologije cigareta. Opisani su tehnološi procesi pripreme, izrade i pakovanja cigareta, kao i kontrole kvaliteta osnovnih i pomoćnih sirovina, proizvoda i repro materijala kroz navedene procese. Detaljno je opisano generisanje dima sa režimima pušenja, tehnike za sakupljanje dima, reaktivnost dima, i komponente cigaretnog dima kroz dvije osnovne faze dima – čestičnu i gasnu.*

*Detaljno su predstavljeni glavni parametri dizajna cigarete, koji utiču na produkciju dima i to: fizičke karakteristike svitka, cigaret papir, dizajn filtera, tip i količina duhana i duhanskih prerađevina u mješavini, i uticaj zeolita kao katalizatora.*

*Ovaj udžbenik osim teoretskog ima i veliki praktični značaj. Prvenstveno je namijenjana studentima diplomskog studija programa **Kontrola kvaliteta hrane i pića**, Poljoprivredno-prehrabrenog fakulteta, Univerziteta u Sarajevu, koji slušaju modul Tehnologija duhanskih proizvoda.*

*Ovo je prvi udžbenik, ovakve vrste, iz ove oblasti, koji obrađuje ovu tematiku, kao jedinstvenu cjelinu, i do sada nije publikovan na području Bosne i Hercegovine.*

*Autor*

# SADRŽAJ

<b>1. UVOD .....</b>	<b>3</b>
<b>2. ISTORIJAT CIGARETE.....</b>	<b>5</b>
<b>3. CIGARETA.....</b>	<b>9</b>
<b>3. 1. TIPOVI CIGARETA.....</b>	<b>10</b>
<b>3. 1. 1. Blend cigareta .....</b>	<b>11</b>
<b>4. UPOTREBNA VRIJEDNOST DUHANA I DUHANSKIH PRERAĐEVINA .....</b>	<b>15</b>
<b>4. 1. Upotrebna vrijednost flue-cured duhana (virdžinija).....</b>	<b>17</b>
<b>4. 2. Upotrebna vrijednost air-cured duhana (berlej i merilend) .....</b>	<b>19</b>
<b>4. 3. Upotrebna vrijednost sun-cured duhana (orientalni i poluorientalni).....</b>	<b>21</b>
<b>4. 4. Upotrebna vrijednost ekspandovanog lisnog nerva nerva (EN) .....</b>	<b>23</b>
<b>4. 5. Upotrebna vrijednost rekonstituisanog duhana (RD).....</b>	<b>25</b>
<b>5. TEHNOLOGIJA PROIZVODNJE CIGARETA .....</b>	<b>31</b>
<b>5. 1. PRIPREMA.....</b>	<b>32</b>
<b>5. 1. 1. Tehnološka linija za obradu duhanskog nerva („rebra“) .....</b>	<b>35</b>
<b>5. 1. 2. Tehnološka linija pripreme berlej duhana.....</b>	<b>39</b>
<b>5. 1. 3. Tehnološka linija miješanja (blendiranja, harmanisanja).....</b>	<b>42</b>
<b>5. 1. 4. Tehnološka linija rezanja, sušenja i aromatiziranja .....</b>	<b>43</b>
<b>5. 2. IZRADA CIGARETA.....</b>	<b>46</b>
<b>5. 3. PAKOVANJE CIGARETA.....</b>	<b>48</b>
<b>5. 4. KONTROLA KVALITETA U PROCESU PRIPREME, IZRADE I PAKOVANJA CIGARETA .....</b>	<b>51</b>
<b>6. DIM CIGARETE .....</b>	<b>53</b>
<b>6. 1. PROCES SAGORIJEVANJA (PUŠENJA) CIGARETE .....</b>	<b>53</b>
<b>6. 1. 1. Brzina sagorijevanja cigarete (SBR).....</b>	<b>57</b>
<b>7. MEHANIZMI FORMIRANJA DUHANSKOG DIMA.....</b>	<b>59</b>

7. 1. FIZIČKE KARAKTERISTIKE DIMA .....	63
7. 2. HEMIJSKI SASTAV CIGARETNOG DIMA.....	64
7. 2. 1. Generisanje dima.....	64
7. 2. 2. Režimi pušenja.....	65
7. 2. 3. Tehnike za sakupljanje dima .....	67
7. 2. 4. Reaktivnost dima.....	69
7. 2. 5. Komponente cigaretog dima.....	69
<b>8. SAVREMENA TEHNOLOŠKA DOSTIGNUĆA PROIZVODNJE CIGARETA.....</b>	<b>83</b>
<b>9. GLAVNI PARAMETRI DIZAJNA CIGARETE KOJI UTIČU NA PRODUKCIJU DIMA.....</b>	<b>93</b>
9. 1. UTJECAJ FIZIČKIH KARAKTERISTIKA SVITKA NA PRODUKCIJU GLAVNE STRUJE DIMA.....	9
4	
9. 2. UTJECAJ CIGARET PAPIRA NA PRODUKCIJU GLAVNE STRUJE DIMA .....	100
9. 3. UTJECAJ DIZAJNA FILTERA NA PRODUKCIJU GLAVNE STRUJE DIMA .....	105
9. 3. 1. Acetatno-celulozni filteri .....	107
9. 3. 2. Filteri sa zeolitima.....	114
9. 3. 3. Filteri sa aktivnim ugljем .....	116
9. 4. UTJECAJ TIPA I KOLIČINE DUHANA I DUHANSKIH PRERAĐEVINA NA PRODUKCIJU GLAVNE STRUJE DIMA.....	125
9. 5. UTJECAJ ZEOLITA/KATALIZATORA NA PRODUKCIJU GLAVNE STRUJE DIMA ..	133
9. 5. 1. Redukcija PAH-ova u glavnoj struji dima zeolitima .....	138
9. 5. 2. Redukcija nitrozamina u glavnoj struji dima zeolitima .....	139
<b>10. LITERATURA .....</b>	<b>140</b>

## 1. UVOD

*M*ože li se danas svijet zamisliti bez cigarete? Teško! I premda se u zadnje vrijeme vodi pravi križarski rat protiv duhanskog dima, sigurno je da će proći još dugo vremena dok duhan postane stvar povijesnih knjiga. Uživanje duhana postalo je univerzalni svjetski fenomen. Cigareta, ili neki drugi oblik potrošnje duhana, može se naći u svakom kutku našeg planeta, a u duhanskom dimu uživaju ljudi bez obzira na rasnu, spolnu, ili vjersku pripadnost, na zanimanje, socijalni status itd.

Današnja cigareta je moderan, industrijski, sofisticiran proizvod koji pri samoj izradi spaja vrhunske stručnjake različitih profila i znanja. Proizvesti cigaretu po današnjim standardima je nemoguće bez agronoma, hemičara ili tehnologa. Danas se u izradi koriste različite komponente kako bi se dobili dobro poznati okusi i arome. Svaki sastojak se pažljivo odabire kako bi odraslim potrošačima proizvođači cigareta ponudili proizvod vrhunske kvalitete.

Protiv pojedinačnih i institucionalnih tvrdnji o štetnosti pušenja po ljudsko zdravlje i okolinu, industrija cigareta brani se nastojanjima da primjenom najsvremenijih tehnoloških metoda proizvede cigarete sa manjim rizikom štetnosti, kao što su npr. elektronska cigareta i aerosol bez sagorijevanja. Međutim, zbog veoma duge tradicije, koja ipak neće tek tako lako nestati, cigarete sa sagorijevanjem će još dugo biti na tržištu. Prednosti novih tehnologija moraju se naučno i klinički potvrditi, za što je potrebno vrijeme. Tu je još i činjenica da se i nove tehnologije, bar po ideji, naslanjaju na već postojeće.

Danas na tržištu cigareta postoji pet tvornica koje dominiraju duhanskom industrijom. Najveći proizvođač cigareta je China National Tobacco Corporation (CNTC). Phillip Morris International, Japan Tobacco

International, British American Tobacco, te Imperial Tobacco su preostale četiri kompanije koje dominiraju svjetskim tržištem duhana.

## 2. ISTORIJAT CIGARETE

*Početak* pušenja cigarete, odnosno njezin primitivni praooblik, nalazimo još u 16. stoljeću. Prema jednom zapisu, Španjolci su već 1518. godine zapazili da pripadnici nekih plemena izmrvljeni duhan umotavaju u listove različitih biljaka - banane, šećerne trske, a najčešće kukuruza, što se može smatrati prvim primitivnim oblikom cigarete. Indijanci su još tada miješali duhan s različitim travama i aromatskim smolama radi poboljšanja arome. Međutim, biljne tvari kojima se omotavao duhan imale su i negativnih popratnih pojava pri izgaranju. Okus dima bio je suviše oštar, duhan je brzo izgarao, lako je ispadao na kraju, upadao u usta i sl.

U 17. stoljeću u Južnoj i Srednjoj Americi pojavljuju se papelitosi, male cigare ili bolje rečeno primitivne cigarete, omotane kukuruznom komušinom, koje su pušili Španjolci i Kreolci. Jedno izvješće iz 1756. opisuje proizvodnju ovakvih cigareta ručno u Meksiku. Zanimljivo je da glasoviti talijanski pustolov Giacomo Casanova (1725-1798) u svojim memoarima navodi da je u Španjolskoj sreо pušače cigareta napravljenih od brazilskog duhana umotanog u list papira.

Sama riječ cigareta španjolskog je porijekla i znači mala cigara, a riječ cigara izvedena je od riječi ciq, što na jeziku plemena Maya znači "sagorljivo". Korijen te riječi znači ugodna, mirišljiva ukusna roba. Maje su bili prvi narod za koji se zna da je pušio cigare.

Cigarete u današnjem obliku, odnosno izrezani duhan umotan u komadić papira, pojavljuju se početkom 19. stoljeća i o njihovoј pojavi postoji nekoliko izvora. Nazvane su cigaritto, a bile su napravljene od tankog lista četvrtastog papira, u koji je ručno umotan duhan.

Druga priča o povijesti nastanka moderne cigarete vezana je za rat između Egipta i Turske. Zapovjednik egipatske vojske Ibrahim-paša u toku opsade tvrđave Akre u Siriji 1832., koju su držali Turci, poslao je kao poklon jednoj

topničkoj jedinici veću količinu finog orijentalnog duhana. Taj duhan vojnici su pušili na jedinoj nargili (vodena lula) koju su imali, dok jednog dana tu nargilu nije raznijela turska granata. Da bi nekako zadovoljili svoju strast za duhanom, vojnici su se dosjetili da duhan umotavaju u papir kojim su omotavane karteče, artiljerijske granate. Priča kaže da je jedan kaplar uzeo taj papir od kojeg su se spravljale čahure za barut, isjekao ga na više komada, u jedan od njih zavio svoj duhan, stavio tu rukotvorinu u usta i cigareta je rođena, slučajno kao i mnogi drugi pronalasci. Vojnici su taj izum neko vrijeme skrivali jer se ipak radilo o državnom papiru koji je služio za druge namjene. No, kako su uspjeli osvojiti tvrđavu, paša im je oprostio tu sitnu krađu. Je li se sve uistinu tako dogodilo teško je reći, no zna se da su nakon toga takve cigarete počeli praviti i turski vojnici, od kojih su tu naviku preuzeli i Rusi koje je sultan bio angažirao u obrani Carigrada. Već četrdesetih godina u Rusiji počinje tvornička izrada takvih cigareta pravljenih od orijentalnog duhana. Zna se da se nakon 1843. u Francuskoj pojavljuju u prodaji prve cigarete.

Ovaj tip cigarete raširio se po Evropi nakon Krimskog rata (1854-1856) u kojem se oko 55.000 vojnika iz Engleske i Francuske borilo na strani Turske u ratu protiv Rusije. U Rusiji su se tada proizvodile orijentalne cigarete s finom aromom koja se mogla uspoređivati s cigarama, pa su britanski i francuski vojnici prihvatali te cigarete i nakon završetka rata raširili naviku pušenja orijentalnih cigareta po Evropi. Tako pušenje cigarete postaje sve popularnije. Zanimljivo je da su tada mnogi "duhanski znalci" predviđali da pušenje cigarete neće naći mnogo poklonika i da će taj oblik uživanja duhana jednostavno nestati. No usprkos takvim prorocima pušenje cigarete stječe sve više poklonika. Nakon 1848. u Francuskoj se pojavljuju prve žene pušačice, kao stanovit simbol otpora važećim normama, jer je do tada ta navika bila uglavnom rezervirana za muškarce.

Budući da narašle potrebe za cigaretama više ne može zadovoljiti ručna izrada, pojavljuju se prve mašine za izradu cigareta. Taj je stroj izložen 1867. na Pariškoj izložbi i bio je prava senzacija. Mogao je proizvesti oko 3.600 cigareta na sat, što je u odnosu na 120 do 150 ručno izrađenih cigareta bio

veliki napredak. Uskoro je 1883. godine konstruisana mašina, koja je proizvodila 15.000 cigareta na sat, što je u to vrijeme bila prava revolucija. Inače, smatra se pretečom automatskih strojeva koji su se pojavili 15 do 20 godina nakon toga. Već tada je uvedeno pakovanje od 20 cigareta kao najpraktičnije, što se zadržalo do današnjih dana.

### Osvajački pohod blend cigarete

U početku su se uglavnom proizvodile orijentalne cigarete, ali su se također proizvodile cigarete i od tamnog kao i svjetlog duhana. Čak su i u SAD marke cigareta tada imale orijentalna imena kao Fatima, Zubelda, Omar, Osman i sl. Kako se u SAD nije proizvodio orijentalni duhan, već drugi tipovi, proizvođači cigareta razmišljali su kako da te duhane ukomponiraju u prihvatljiv proizvod. Nakon mnogih eksperimenata, Reynolds je 1913. dao na tržište cigaretu s novom mješavinom nazvanom domaći blend, sastavljenom od flue-cured duhana, berleja i orijentalca, uz dodatak nekih zaslađivača i aromata. Ta mješavina u osnovi je bila slična lulašu, a od 1916. takvoj mješavini počeo se dodavati i merilend radi poboljšanja sagorljivosti. Nova cigareta nazvana je Camel, a uz naziv i sam dizajn cigarete s minaretom, devom i piridom u pozadini, asocirao je na orijent, odnosno aromatski i visokokvalitetni duhan, budući da je tada orijentalni duhan još predstavljao najbolju kvalitetu.

Camel je 1918. sudjelovao s oko 40% u ukupnoj prodaji cigareta u SAD. U SAD je potrošnja cigareta po odrasлом stanovniku 1913. iznosila 250 cigareta, a 1925. 1.060 komada. Oko 1920. cigareta postaje dominantni oblik uživanja duhana u SAD, a uskoro i u cijelom svijetu.

Širenju blend cigarete u Evropi doprinose američki vojnici. U Europi su tada postojala tri tipa cigarete: orijentalni, koji je bio najrašireniji u jugoistočnom i istočnom dijelu kontinenta, tamna cigareta u srednjoj i zapadnoj Europi, te engleski tip cigarete. Tada je u većini zemalja duhan bio organiziran u sistemu državnog monopola, tako da je svaka država prije svega štitila svoj interes. Dobra ilustracija za to je zabrana prodaje američkih cigareta u V. Britaniji. Naime, poslije I svjetskog rata ove cigarete počele su se širiti u V. Britaniji što je vjerojatno zasmetalo domaćem duhanskom lobiju, pa

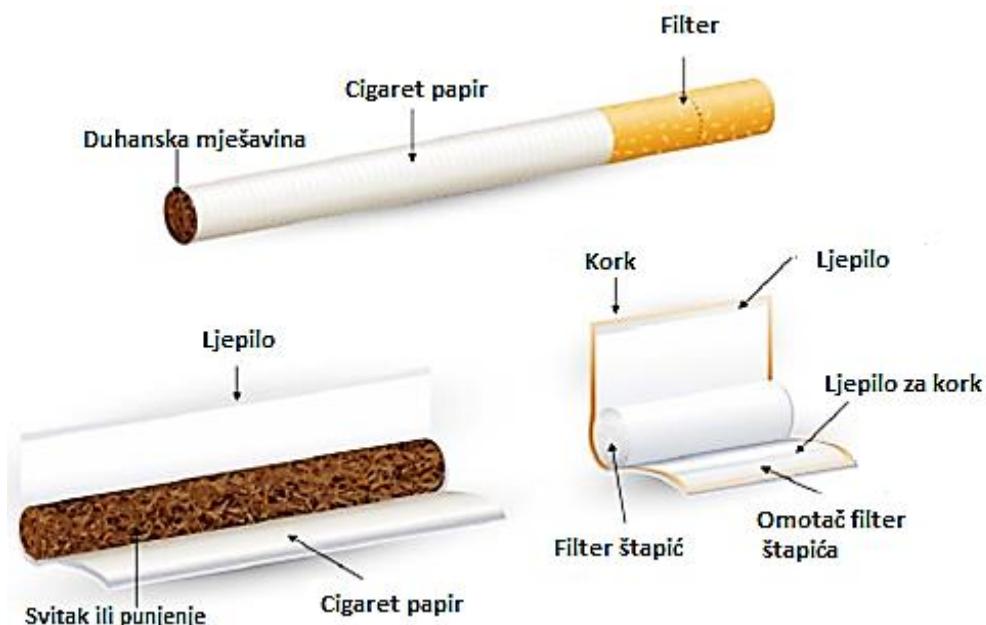
britanska vlada 1925. godine donosi odluku o zabrani prodaje američkih cigareta na njihovom tržištu. Odluka o zabrani temeljila se na jednom zakonu iz 1842. koji zabranjuje dodavanje meda, šećera i melase duhanu, a kao što je poznato američke blend cigarete sadrže različite zaslađivače za poboljšanje okusa.

U naše krajeve cigareta je došla preko Austrije i Italije.

### 3. CIGARETA

Za razliku od drugih proizvoda, cigareta se ne konzumira u stanju u kojem je predstavljena. Konzumira se u formi dima, osnovnog proizvoda, koji se u cigaretu formira tokom složenog procesa sagorijevanja. Prema tome, cigareta predstavlja osobit reaktor, koji svojim karakteristikama treba da omogući nastajanje zadatih uslova prilikom sagorijevanja, kako bi se formirao dim željenih karakteristika.

Moderne cigarete pažljivo su dizajnirane kako bi povećale atraktivnost potrošačima, te privlačile nove korisnike i specifične ciljne skupine. U savremenoj proizvodnji preovlađuju cigarete sa filterom. Osnovni sastavni dijelovi cigarete sa filterom su (Slika 1.):



Slika 1. Osnovni elementi cigarete sa filterom

1. Svitak ili punjenje - urolan na vlakna izrezani duhan, preciznije rečeno biomasa, jer se pored duhana u svitku mogu naći i drugi biljni materijali (saitrel)<sup>1</sup>, rekonstituisani duhan, ekspandovani duhan i razni aditivi.
2. Cigaret papir- specijalno izrađen fini papir koji drži na okupu vlakna svitka, a pri sagorijevanju cigarete i sam sagorijeva,
3. Filter- dodatak cigareti, istog štapićastog oblika sa istim prečnikom kao i svitak, čiji je zadatak da iz dima odstrani dio čestične faze<sup>2</sup>,
4. Omotač (ovoj) filtera- koji ima funkciju uobličavanja materijala ili dijelova od kojih je filter izrađen, i
5. Kork- element koji spaja cigaretni štapić<sup>3</sup> i filter

### 3.1. TIPOVI CIGARETA

*S*lobzirom na tehnologiju proizvodnje i sastav duhanske mješavine, postoje četiri osnovna tipa cigareta koji se danas nalaze na tržištu: orijentalna, virdžinijska, tamna i blend cigareta<sup>4</sup>, te neki lokalni tipovi koji se konzumiraju samo na ograničenom području (papirovi, bidi, kretek, pikadura i merilend cigareta).

Orijentalna ili turska cigareta vodi porijeklo sa Bliskog istoka i Sredozemlja, odakle se raširila po Evropi. Mješavina ovih cigareta sastavljena je od aromatičnih orijentalnih duhana koji se ne sosiraju i ne aromatiziraju. Tradicionalno su bile bez filtera i ovalnog oblika. Danas je pušenje

---

<sup>1</sup>s a i t r e l - vještački duhan izrađen kao folija u kojoj celulozna vlakna potiču od drugog biljnog materijala

<sup>2</sup>č e s t i č n a f a z a (TPM) - total particulate matter = komponente koje u potpunosti mogu biti zadržane u odgovarajućem kolektoru za dim mašine za vještačko pušenje (No CORESTA 35).

<sup>3</sup>c i g a r e t n i š t a p i ċ = ovjeni svitak

<sup>4</sup>b l e n d c i g a r e t a – mješavina više tipova, klasa i porijekla duhana

orientalnih cigareta prisutno još samo u manjem obimu u nekim zemljama istočnog Sredozemlja, i sve ih više potiskuju cigarete blend tipa.

Virdžinijska ili engleska cijapeta je izrađena potpuno ili skoro potpuno od flue-cured duhana. Ovaj tip cijapete, u načelu, se ne sosira i ne aromatizira, već se odgovarajuća aroma dobiva miješanjem duhana različitog porijekla i različitog kvaliteta. Neke arome, npr. vanilija, ponekad se upotrebljavaju i u virdžinijskim cijapetama. Virdžinijska cijapeta karakteristična je za tržište Velike Britanije i mnogih zemalja koje su bile pod engleskom dominacijom, te u Kini.

Tamna ili crna cijapeta je karakteristična po tome što sadrži značajne količine tamnih duhana različitog porijekla i kvaliteta. Postoji više tipova tamne cijapete ovisno o sastavu mješavine, što je karakteristika države, odnosno područja. Potrošnja tamnih cijapeta dominirala je u Francuskoj, Španiji, Aziji, te u nekim zemljama Južne Amerike. Danas se potrošnja i ovog tipa cijapete sve više smanjuje na račun blend cijapeta.

Blend cijapeta je danas dominantna na domaćem i svjetskom tržištu koju u proizvodnju uvodi R.J. Reynolds 1913. god. u USA (*Collins and Hawks, 1993*). Njihov udio sve više raste na račun drugih tipova cijapeta jer se pokazalo da je zahtjeve, u pogledu smanjenja štetnih komponenata duhanskog dima, najlakše ispuniti na dimu cijapeta tzv. tipa "američki blend".

### 3. 1. 1. Blend cijapeta

Blend cijapeta zbog standardnog kvaliteta i specifičnog doprinosa duhana kvalitetu pušenja, nikada ne sadrži samo jedan tip duhana. Uvijek su to mješavine (70% duhana, 25-30% prerađenog duhana i 0,5% raznih derivata). Napraviti dobru mješavinu, koja će rezultirati sa smanjenim sadržajem štetnih komponenata u dimu cijapete, jedno je od najvećih umijeća u proizvodnji cijapeta. Sastavljanjem mješavine (blendiranjem)

bave se posebno obučeni ljudi koji posjeduju znanje o načinu formiranja dima, tehnološkom procesu proizvodnje i kvalitetu duhana.

Svi sastojci jedne mješavine pažljivo se odabiraju po tipu, porijeklu i kvalitetu, a od sastava mješavine u najvećoj mjeri ovisi prihvatljivost cigarete na tržištu. Inače, recepture blend cigareta su proizvođačka tajna svake tvornice na svijetu, ali generalno u njihovom sastavu učestvuju:

- flue-cured duhani (FC)<sup>5</sup> – virdžinija,
- air-cured duhani (AC)<sup>6</sup> – berlej i merilend,
- orijentalni duhani (SC)<sup>7</sup>,
- rekonstituisani duhan (folija)<sup>8</sup>i
- ekspandovani lisni nerv<sup>9</sup>.

Upravo određivanjem upotrebne vrijednosti različitih klasa tri osnovna tipa duhana (FC, AC, SC) i prerađenih duhana (folija, ekspandovani glavni nerv) došlo se do optimalnog stepena njihove zastupljenosti u mješavini za izradu cigareta tipa američki blend (Tabela 1.).

Iako precizni odnosi ovih sastojaka variraju od države do države, ovi tipovi duhana i proizvodi na bazi duhana trebaju biti skladno ukomponovani, tako da individualno svojstvo niti jednog tipa duhana ne smije doći do izražaja, odnosno ne smije biti dominantno, već njihova kombinacija mora dati željen okus. Svaki od navedenih tipova duhana, rekonstituisani duhan i ekspandovani nerv odlikuju se jedinstvenim karakteristikama vezanim za njihovu moć punjenja, brzinu sagorijevanja, količinu nikotina i TAR-a, okus i aromu dima. Stoga, blendiranje (miješanje) je najkritičniji korak u kreiranju blend cigarete.

---

<sup>5</sup> FC – flue- cured (duhani sušeni toplim zrakom u specijalnim sušnicama sa kontrolisanom atmosferom)

<sup>6</sup> AC – air- cured (duhani sušeni ambijentalnim vazduhom u hladu)

<sup>7</sup> SC – sun- cured (duhani sušeni ambijentalnim vazduhom na suncu)

<sup>8</sup> r e k o n s t i t u i s a n i d u h a n – materijal nalik hartiji (foliji) izrađen od duhana ili uglavnom od duhana; koristi se kao rezan u blendu cigareta ili kao ovoj za cigarete i cigarilose

<sup>9</sup> e k s p a n d o v a n i l i s n i n e r v – u procesu obrade duhana (ižiljanja) izdvaja se glavni lisni nerv, nakon čega se vrši proces ekspandiranja

**Tabela 1.** Sastav tipičnog američkog blend-a

<i>Duhan i duhanske prerađevine</i>	<i>Udio u blendu (%)</i>
<i>FC</i>	25 - 30
<i>AC</i>	25 - 35
<i>SC</i>	3 - 5
<i>Ekspandovani glavni nerv</i>	3 - 10
<i>Folija</i>	10 - 25
<i>U k u p n o:</i>	100

Blend cigarete preferiraju se iz razloga što ova tri tipa duhana daju određenu aromu dimu. Stoga, količina i osobine formiranog dima dominantno će zavisiti od osobina i zastupljenosti pojedinih duhana u blendu. Međutim, u pogledu toksičnosti i kancerogenosti, navedenih duhana, postoje signifikantne razlike. Tako, uvođenjem različitih inovacija, cigareta se stalno mijenja i prilagođava zahtjevima tržišta, što je ujedno odgovor različitim izazovima, posebno kad je u pitanju antipušačka kampanja i odnos pušenja i zdravlja. Neosporno je da duhanska grana ne može kvalificirano ulaziti u zdravstvenu problematiku i dvojbe oko pušenja, ali može i treba unutar svojih stručnih krugova poticati ozbiljna istraživanja, čiji bi rezultati bili iznalaženje biotehnoloških puteva zdravstveno prihvatljivog proizvoda. S tim u vezi, rade se očevide izmjene u kreiranju cigarete, a u smislu smanjenja štetnih materija, u prvom redu TAR-a, nikotina i CO, mjerenih na osnovi standardiziranih uslova mašinskog pušenja.



## **4. UPOTREBNA VRIJEDNOST DUHANA I DUHANSKIH PRERAĐEVINA**

*U*mjesto kvaliteta često se govori o upotrebljivosti duhana. Upotrebna vrijednost određuje ulogu pojedinog duhana i prerađevina na bazi duhana u mješavini, i shodno tome, količinu kojom će u njoj biti zastupljeni na osnovu tri grupe faktora:

*Ekonomičnost u izradi* se pre svega, odnosi na broj cigareta koje je moguće izraditi od 1 kg rezanog duhana/blenda („moć punjenja duhana“<sup>10</sup>). Generalno bi se moglo reći da sagorijevanje veće mase duhana dovodi do formiranja veće količine dima. Zato se prilikom proizvodnje cigareta teži postizanju zadatog denziteta uz, što je moguće, manju masu materijala koji sagorijeva. Postizanje ovog cilja je značajno i sa aspekta formiranja dima i sa ekonomskog aspekta.

*Hemijski kvalitet duhana* podrazumijeva utvrđivanje osnovnih hemijskih indikatora kvaliteta duhana i odstupanja od optimalnih odnosa među njima. Osnovni hemijski indikatori kvaliteta su sadržaj nikotina, ukupnog azota, azota proteina, redukujućih šećera, ukupnih šećera, polifenola, pepela i pH vrijednosti. Sva ova i druga jedinjenja iz sastava duhanskog lista doprinose sastavu dima prolazeći kroz procese pirolize, pri čemu se termički razgrađuju ili u dim prelaze neizmijenjene.

Na osnovu međusobnih odnosa pojedinih važnijih hemijskih komponenata neki istraživači su pokušali odrediti kvalitativnu vrijednost duhana, odnosno "indeks kvaliteta".

*Šmukov koeficijent ili broj* (jednačina 1) predstavlja odnos između redukujućih šećera (izraženih kao glukoza) i bjelančevina.

---

<sup>10</sup>moć punjenja - zapremina 1 kg rezane i kondicionirane lisne plojke duhana, podvrgnute konstantnom pritisku [cm<sup>3</sup>/g]

$$\text{Šmukov broj} = \frac{Rs}{B} \quad \dots(1)$$

gdje je: Rs - redukujući šećeri (%)

B - bjelančevine (%)

Upotrebljava se za orijentalne i poluorijentalne, a uvijek se odnosi na duhan istog tipa i porijekla. Ukoliko je vrijednost ovog koeficijenta manja od 0,7, radi se o duhanima koji imaju slab kvalitet. Ukoliko se Šmukov broj kreće od 0,7 do 1,2 duhan ima srednji kvalitet, a iznad 1,3 visok kvalitet.

Za dopunu procjene služi još i polifenolni broj (jednačina 2) koji predstavlja odnos između ukupnih redukujućih materija i polifenola.

$$\text{Polifenolni broj} = \frac{P}{Ur} \times 100 \quad \dots(2)$$

gdje je: P - polifenoli (%)

Ur - ukupne redukujuće materije (%)

Najednostavniji kriterij za ocjenu svijetlih duhana jest odnos šećera i nikotina. Optimalan odnos bi trebao biti od 6 do 9. Visok odnos znači manje sadržajne duhane, relativno blagog dima. Nizak odnos označava grube i prehranjene duhane debelog tkiva, jakog i oporog dima.

U svijetlih flue-cured duhana određuje se još jedan odnos ukupnog azota i nikotina, a optimalan odnos za sadržajne duhane ugodne arome i okusa trebao bi biti od 0,7 do 1,0. Duhani sa malim omjerom obično su blijedi, glatkog tkiva i bez poželjnih fizičkih svojstava.

Kvalitet „na pušenju“ je utvrđivanje degustacionih (pušačkih) svojstava dima, a sve sa ciljem da se zadovolji krajnji konzument-pušač. Degustacijska ocjena definitivna je ocjena vrijednosti sirovine neke nove sorte ili novog proizvoda.

Na osnovu upotrebnе vrijednosti svi duhani mogu biti razvrstani u tri grupe:

- začinski duhani su duhani koji dimu daju željan i specifičan „flavour“<sup>11</sup> sa željenim stepenom iritacija,

---

<sup>11</sup>flavour – ne postoji adekvatan prevod na naš jezik, označava ukupna organoleptička svojstva dima

- modifikatori su duhani koji sami po sebi ne daju poseban „flavour“ ali u kombinaciji sa drugim duhanima podržavaju željeni „flavour“ uz prihvatljiv stepen iritacija, i
- punioci su duhani koji na pušenju nemaju izražen „flavour“ (tzv. neutralni duhani) ali imaju dobru moć punjenja.

Dakle, poznavanje fizičkih i hemijskih utjecaja komponenti, na količinu formiranog dima, od presudnog su značaja za njihovu upotrebljivost u mješavini za izradu cigarete. S obzirom da se „novi zahtjevi tržišta“ prije svega odnose na utjecaj dima na zdravlje ljudi (i pušača i nepušača), potencijal stvaranja po zdravlje štetnih komponenata dima još je jedan novi parametar za procjenu upotrebne vrijednosti sirovina koje ulaze u sastav cigarete.

#### **4. 1. Upotrebna vrijednost flue-cured duhana (virdžinija)**

*N*ajrašireniji tip duhana u svijetu je duhan sušen toplim zrakom ili flue-cured duhan. To je svjetli cigaretni duhan koji se često zove i svjetla virdžinija ili samo virdžinija, po američkoj saveznoj državi Virdžiniji odakle je potekao. Glavni je sastojak američkih blend cigareta. U procesu obrade ovog duhana izdvaja se glavni lisni nerv. Ovaj duhan mora da odleži u skladištima određeni vremenski period kako bi mogao da se upotrijebi za izradu blend cigareta.

Izuzetno važna hemijska karakteristika, po kojoj se izdvaja od svih ostalih duhana, je visok sadržaj rastvorljivih šećera. Sadržaj varira od 12 do 20%, što ovisi od sorte i područja proizvodnje. Količina nikotina u duhanu tipa virdžinije, kreće se u granicama od 0,6 do 4%, zavisno od kvaliteta i položaja lista na stabljici. Prema dosadašnjim istraživanjima sadržaj nikotina u virdžinjskom duhanu treba da se održi u intervalu od 0,35 do 2,40%, a najpovoljniji sadržaj nikotina kod osušenog lista flue-cured duhana kreće se u granicama od 2,14 do 3,37%. Sadržaj ukupnog azota je nizak (1,5 do 3,0%) a količina nitrata je zanemarljiva. U poređenju sa ostalim duhanima, sadrže

najveću količinu fenolnih komponenata, kao i najveću količinu malonske kiseline.

Virdžinijski flue-cured duhan koji se upotrebljava u mješavinama za cigarete, sadrži od 1,5 do 2,5% nikotina. Glavna karakteristika ovog tipa duhana je dobar „konac“ prilikom rezanja, te je u fabrikaciji veoma cijenjena za vezivanje materijala u mješavini. Karakteriše se čvrstim i elastičnim vlaknom, što omogućava povezivanje sitnijih frakcija i sprječava istresanje duhana iz cigarete.

Fizička osobina duhana, koja izravno utječe na svojstva proizvedene cigarete, jest sagorljivost. Lišće sa donjeg dijela stabljične virdžinijskega duhana lakšeg je tkiva, rastresitije, manje zbijenog tipa i veće sagorljivosti od lišća s gornjeg dijela stabljične. Cigarete izrađene od FC duhana gore nešto sporije (broj povlačenja 11) ali je maksimalna temperatura sagorijevanja nešto viša 812 °C.

Ovaj tip duhana u mješavini za cigarete je glavni nosilac faktora okusa dima. Dim koji potiče od flue-cured duhana je sladak i aromatičan, sa neznatno kiselkastim okusom, što je rezultat visoke količine redukujućih šećera u listu. Ima niži pH i slabo je kiseo. Aroma, jačina duhana i svojstva dima poboljšavaju se od baze prema vrhu biljke.

Brojna su druga senzorna i fizička svojstva koja služe u procjenjivanju kvalitete virdžinijskog duhana, ali ona sama po sebi nisu od bitnog značaja za upotrebljivost, već služe pokazivanju ostalih kvalitetnih obilježja duhana. Ta obilježja, kao veličina i oblik lišća, stepen oštećenosti, nijansa boje i njena izraženost, elastičnost i osjećaj kada se list dodiruje, pokazuju neke krajnosti u uzgoju, sušenju i vremenu pod kojim je duhan rastao i s kojeg je dijela stabljične. Najkvalitetnije je srednje lišće, gdje je odnos šećera i nikotina veoma usklađen, a idući gore i dole na struku, kvalitet lišća sve više opada. U načelu, tom tipu duhana tokom uzgoja treba zalamati vegetacijski vrh, a kvalitativna svojstva i upotrebljivost zalomljenog i nezalomljenog duhana su različita.

Cigarete, načinjene isključivo, od virdžinije emituju u dim značajno nižu vrijednost TAR-a, u odnosu na sun-cured duhane. Koncentracija TAR-a u

dimu ovih cigareta, nešto je veća prema koncentraciji TAR-a, koju emituju cigarete od air-cured duhana. Tako, virdžinija porijeklom iz Orašja, u cigaretama sa filterom, emitovala je u dimu  $15,63 \text{ mg/cig}$  TAR-a. Nešto veću koncentraciju TAR-a ( $17,7 \text{ mg/cig}$ ) emitovala je FC cigareta u čijem sastavu je bila virdžinija porijeklom iz Zimbabvea.

#### 4. 2. Upotrebna vrijednost air-cured duhana (berlej i merilend)

*Berlej* je tamni, krupnolisni duhan (dužina srednjeg lišća od 30 cm do preko 50 cm) koji se suši ambijentalnim vazduhom (*air-curing*) u zasjenjenim prostorima, s mogućnošću strujanja zraka.

Sušenje berleja traje dugo, pa su procesi razgradnje hemijskih komponenata lista izraženiji, što se odražava na njegov hemijski sastav. Ima mali ili zanemarljiv sadržaj šećera, malo fenola (do 0,5%), malo isparljivih i mnogo neisparljivih kiselina (uglavnom limunske i jabučne). S druge strane, ima visok sadržaj nikotina i ukupnog azota, dosta nitrata (1 do 2%), visok sadržaj pepela koji je veći i u odnosu na virdžiniju i orijentalni duhan. U reprezentativnim sortama duhana tipa berlej, proizvedenim u SAD-u sadržaj nikotina varira od 2,9 do 3,5%.

Važna karakteristika upotrebljene vrijednosti duhana tipa berlej je visoka moć apsorpcije. Zbog navedenih negativnih hemijskih svojstava, koje treba ublažiti ili eliminirati, ovaj tip duhana prolazi poseban način pripreme (vidi poglavlje: Priprema duhana tipa berlej) sosiranje (*casing*)<sup>12</sup> i termičku obradu sosiranog duhana (tostiranje). Ovaj tip duhana ima veoma porozno tkivo, što mu omogućava dobru moć upijanja aditiva (do 25% vlastite težine). Ovo svojstvo ga čini glavnim nosiocem aditiva (sosova) u mješavini za cigarete. Stoga, ima veliki značaj za duhansku industriju i obavezan je sastojak blend cigareta.

---

<sup>12</sup>C a s i n g – je riječ za koju ne postoji adekvatan prevod na naš jezik, a u praksi je odomaćen termin „sos“. Izraz ćemo koristiti u originalu i samo naziv operacije dodavanja casinga/sosa duhanu zadržati kao sosiranje.

Efekat primjene casinga i termičke obrade rezultira promjenama u hemijskom sastavu ovog tipa duhana. Smanjuje se sadržaj nikotina i amonijaka, dok se sadržaj redukujućih šećera signifikantno povećava. Promjene u hemijskom sastavu uslovljavaju i promjenu pH vrijednosti što rezultira poboljšanim degustacionim svojstvima dima berleja.

Također, u procesu obrade dolazi do promjena i fizičko-tehnoloških parametara, što se prvenstveno ogleda u povećanoj moći punjenja, povoljnijem frakcijskom sastavu, malim postotkom škarta/prăšine i uvećanjem elastičnosti berleja, čime se stvaraju povoljniji preduslovi za odvijanje optimalnog procesa izrade cigareta. Prema tome, termička obrada sosiranog berleja omogućava širi dijapazon korištenja sirovine tipa berlej u izradi blend cigareta.

Cigarete načinjenje isključivo od berlej duhana najbolje sagorijevaju. Maksimalna temperatura sagorijevanja je 807°C. Stoga, dosadašnja istraživanja su potvrdila da dim berlej duhana doprinosi značajno nižoj produkciji TAR-a u odnosu na dim sun-cured i flue-cured cigareta. U dimu cigarete sa filterom, u čijem sastavu je bio duhan berlej porijeklom iz Orašja (BiH) koncentracija TAR-a iznosila je 15.63 mg/cig.

Merilend je drugi lagani svjetli air-cured duhan i ne uzgaja se kod nas. Upotrebljava se u mješavinama cigareta američkog blend tipa, kao i u tzv. merilend cigaretama u Švicarskoj. Naziv je dobio po američkoj državi Merilend iz koje potiče.

Osobine ovog tipa duhana, koje ga čine cijenjenim i traženim i po kojima se razlikuje od drugih tipova, su izuzetno rastresito (spužvasto) tkivo, dobra sagorljivost i neutralna aroma. Sadržaj nikotina je relativno nizak (1,27%). Topivi šećeri su niski do zanemarivi (0,21%), a sadržaj bjelančevina (10,06%), ukupnog azota (2,80%), kalcija (4,79%), kalija (4,40%), magnezija (1,03%) i pepela (21,98%) niži je nego u berleja.

#### 4. 3. Upotrebna vrijednost sun-cured duhana (orijentalni i poluorijentalni)

*To je skupina duhana za koju je karakteristično da se suše ambijentalnim vazduhom, na suncu. Domovina im je istočno Sredozemlje. Glavni proizvođači su: Turska, Grčka, Makedonija, Bugarska, Južna Italija, Albanija, dio Rumunije i Južne Srbije.*

Orijentalni duhani spadaju u skupinu sitnolisnih duhana (dužina srednjeg lišća do 20 cm). Nervatura je nježna (najkvalitetniji nemaju ni do 5% rebra u ukupnoj težini lista) pa se ne ižiljavaju. Obrađuju se po sistemu tonga manipulacije, sa sezonskom (prirodnom) i vansezonskom (vještačkom) fermentacijom. Nakon fermentacije duhan odležava u skladištima duži period da bi mogao da se upotrijebi za izradu cigareta.

Posebna karakteristika ovih duhana je mirišljivost i aromatičnost u pušenju. Lišće orijentalnog duhana, posebno vršne berbe, ima visok sadržaj aromatičnih materija (smole, rezeni, eterična ulja). Donje berbe su manje aromatične. Koriste se u američkim blend cigaretama, a količina ovisi od karaktera dima koji se želi postići. Za orijentalne duhane karakteristično je da imaju nizak sadržaj nikotina (1,05%). Sadržaj ugljenih hidrata (12,39%) i azotnih komponenti (2,65%) je srednji. U ovisnosti od navodnjavanja i količine primijenjenih đubriva, nikotin može varirati od 0,60% do 1,74%, dok u zavisnosti od sorte, nikotin se kreće u rasponu od 0,72 do 1,25%.

U pušenju su ovi duhanci aromatični, srednje punoće pušenja, sa lagano kiselom reakcijom dima. Fiziološka jačina je blaga do srednje jaka. Listovi sa gornjeg dijela stabljične, odlikuju se većim sadržajem kondenzata i nikotina u odnosu na listove sa donjem dijelom stabljične. Tako donji listovi orijentalnog duhana tipa Jaka, sadrže 17,76 mg/cig TAR-a, a nikotina 0,70 mg/cig. Prosječan sadržaj TAR-a u dimu cigareta načinjenih od srednjih listova, je nešto veći (19,10 mg/cig.). Sadržaj nikotina ima nešto veće vrijednosti (0,75mg/cig.). Najveće vrijednosti sadržaja TAR-a (21,62 mg/cig), i nikotina registrovane su kod cigareta koje u svom sastavu imaju listove sa gornjeg dijela stabljične.

Orijentalne cigarete gore veoma sporo i često se gase. Maksimalna temperatura sagorijevanja je 460°C.

Poluorientalni duhani su posebna skupina duhana sušenih na suncu. Po svojim svojstvima su najbliži dopunskim orientalnim duhanima. U odnosu na njih imaju nešto krupnije listove (dužina srednjeg lišća do 35 cm) sa izraženijom nervaturom. Upotrebljavaju se za izradu orijentalnih i blend cigareta.

Gaje se još u nekim bivšim državama USSR-a, Rumuniji, Bugarskoj, Italiji, Albaniji, Srbiji i Bosni i Hercegovini. Izraziti predstavnik ove grupe je hercegovački duhan, sorta Ravnjak. Bitna pušačka svojstva, kao što su ugodna aroma, dobra sagorljivost i zaokružen okus pušenja, dobiva samo u određenim uslovima njegovog uzgoja. To je duhan koji ima uglavnom skladan odnos većine bitnih hemijskih i pušačkih svojstava, pa se može pušiti sam bez miješanja s drugim duhanima.

Hercegovački duhan, kao sirovina sama za sebe, predstavlja dobru cigaretu pri pušenju, s povoljnim odnosom hemijskih komponenata, specifičnom i prijatnom aromom. Povoljno djeluje i na sklad ukupne mješavine za izradu cigareta, zaokružuje okus i čini cigaretu punom pri pušenju. Ovo sve dakako, pod pretpostavkom da je pravilno izabrana sirovina i određen optimalan postotak učešća. Međutim, zbog izmjene okusa pušenja i tipa cigarete, ovi duhani sve više gube na značaju jer se teško uklapaju u savremene mješavine blend cigareta. Danas se najviše upotrebljavaju za rezani duhan i ručno motane cigarete.

Iskorištenje gore navedenih tipova duhana, odnosne duhanske sirovine za izradu cigareta, kreće se oko 75%, a preostali dio ostaje neiskorišten. Iz tog razloga uporedo se razvila industrijska obrada i prerada duhana, koja obezbjeđuje iskorištenje duhanske sirovine još za 7 do 8%, a sve u cilju dobijanja ostalih duhanskih komponenata koje sudjeluju u mješavinama za izradu blend cigareta. Ove duhanske komponente sačinjene su od sitnjavine i prašine iz postupaka obrade i prerade duhana (*rekonstituisani duhan*), kao i dijelova glavnog lisnog nerva (*ekspandovani lisni nerv*) koji u datim procesima nije iskorišten.

#### 4. 4. Upotrebna vrijednost ekspandovanog lisnog nerva (EN)

*S* obzirom da se nervatura lista virdžinijskih i berlejskih duhana (glavni nerv) razlikuje u odnosu na plojku duhana i po fizičkim i po hemijskim osobinama, u procesu obrade duhana ona se odvaja i podvrgava procesu ekspanzije.

Ekspandiranjem glavnog lisnog nerva (vidi poglavlje: *Tehnološka linija za obradu duhanskog nerva („rebra“)*) transformišemo duhansku sirovinu niže upotrebljivosti (Slika 2) u vrlo upotrebljivu duhansku sirovinu. Upotreba ekspandiranog nerva u mješavini za cigarete, prije svega, utiče na povećanje moći punjenja materijala. Za svaki procenat unijetog ekspandovanog materijala masa duhana u svitku cigarete smanjuje se za 0,5%.

Po hemijskom sastavu (Tabela 2) rebro se razlikuje od duhanske plojke jer ima manje nikotina, a uvećanu količinu celuloze i lignina. Sadržaj nikotina u kvalitetnom lisnom nervu flue-cured duhana kreće se u rasponu od 0,35-0,70%, dok je i sadržaj šećera niži u odnosu na plojku lista. Prikazan je hemijski sastav ekspandovanog nerva sačinjenog od 50% virdžinijskog i 50% berlejskog duhana.

Glavni lisni nerv air-cured duhana je posebno bogat u pogledu sadržaja nitrata ( $\leq 6,8\%$ ), za koje je dokazano da inhibiraju pirosintezu PAH-ova. Međutim, nitrati doprinose povećanju  $NO_x$  u dimu, koji formiraju kancerogene tzv. duhanske specifične nitrozamine (TSNA).

Njegovim miješanjem sa rezanim duhanom (količina ovisi o recepturi cigarete) povećava se moć punjenja mješavine (Tabela 3), reguliše se težina cigarete, odnosno normativ. Povećanje moći punjenja duhana u proizvodnji cigareta znači manje učešće duhanske sirovine u cigaretama istog volumena, dok u funkciji kvaliteta i sastava dima znači pozitivan pomak ka redukciji štetnih materija.

**Tabela 2.** Hemijski sastav ekspandovanog lisnog nerva od virdžinije (FC) i berleja (AC) u omjeru 50:50% (Đulančić, 2017)

Komponenta	Sadržaj (%)
Nikotin	0,53
Bjelančevine	4,11
N bjelančevina	0,91
Ukupni N	1,90
Šećeri	13,84
Pepeo	24,32

**Tabela 3.** Utjecaj količine ekspandovanog nerva (50%FC i 50%AC) na moć punjenja ( $\text{cm}^3/\text{g}$ ) mješavine za izradu cigareta (Đulančić, 2012)

Količina EN u mješavini za izradu cigareta	Moć punjenja mješavine $\bar{x} \pm SD$
Kontrolna mješavina bez EN	$453,00 \pm 1,63^a$
Mješavina sa 10% EN	$467,00 \pm 1,83^b$
Mješavina sa 15% EN	$478,00 \pm 1,63^c$
Mješavina sa 20% EN	$493,00 \pm 0,82^d$

Dim cigareta načinjenih od ekspandiranog nerva ima signifikantno nižu vrijednost za ukupnu količinu glavne struje dima. Prema tome, niže su količine TAR-a, nikotina i CO. Utvrđeno je da su cigarete od ekspandovanog nerva značajno manje štetne, u odnosu na dim cigareta koja ne sadrže ekspandovani nerv.

#### 4. 5. Upotrebna vrijednost rekonstituisanog duhana (RD)

*R*ekonstituisani duhan (duhanska folija), homogenizirani duhan ili engleski, Recon-leaf (Reconstituted Tobacco) je duhanska sirovina dobivena posebnim postupkom iz duhanskog otpada i nusprodukata. To je sav odbačeni materijal duhanskog porijekla koji je nastao u procesu obrade, prerade, transporta ili bilo kakve manipulacije duhanom, napravljen u obliku folije, debljine prirodne plojke duhana, a koristi se za proizvodnju cigareta. Ova folija pravi se u obliku trake ili listova različitog formata i u postupku proizvodnje cigareta dodaje se mješavini duhana prije blendiranja, tako da se reže zajedno sa duhanom.

Tokom proteklih 10 do 15 godina razvijene su razne tehnologije, ali su danas najzastupljenija dva procesa proizvodnje folije:

- *papirni proces (papermaking process)* i
- *viskozni proces (slurry process)*.

Suština procesa proizvodnje folije sastoji se u tome da se od duhanskog materijala (Slika 3) i odgovarajućeg vezivnog duhanskog materijala i aditiva izlije "platno" dobrih fizičkih svojstava, i prije svega malog denziteta.



**Slika 2.** Glavni lisni nerv prije i nakon ekspandiranja



**Slika 3.** Duhanski materijal za izradu folije



**Slika 4.** Listovi folije

Papirni postupak je način proizvodnje folije koji je danas dominantan u svijetu. Sastoje se u tome da se mješavina duhanskog materijala koji se koristi za proizvodnju folije potapa u vruće otapalo. Zatim se provodi ekstrakcija i separacija, odnosno odvajanje duhanskih vlakana od duhanskog rastvora, koji se potom isparavanjem otapala koncentrira. Netopivi dio se dalje macerira, a dobiveni vlaknasti materijal formira se u obliku beskonačne trake na posebnoj mašini. To platno se zatim suši i impregnira s koncentriranim ekstraktom i prema namjeni siječe u listove (Slika 4) odgovarajućih dimenzija. Usljed savršenijeg tehnološkog postupka kvalitet folije dobijene na ovaj način je mnogo bolji (koristi se isključivo prirodni materijal). Međutim, za njega su potrebna visoka ulaganja i samo uz veliku proizvodnju može biti profitabilan. Najveći svjetski proizvođač je LTR industrija u Francuskoj. Proizvodnja folije u Francuskoj i SAD kreće se oko 64.000 t.

Viskozni postupak sastoje se u tome da se duhanski materijal za proizvodnju folije (duhanska sitnjavina, rebra) osuši i samelje u prah. Potom se prah dodaje otopini koja sadrži ljepilo, različite aditive (poboljšivači sagorljivosti, humektanti i dr.) i celulozna vlakna. Ljepila moraju biti od prirodnih materijala, a za humektante se koriste supstance iz skupine glicerola i glikola. Tako napravljena viskozna kaša prelje se preko beskonačne čelične nehrđajuće trake na kojoj se suši i formira platno, koje se, ovisno o namjeni, namotava u rolne (omot cigara ili cigarilosa namijenjenih za evropsko tržište) ili se siječe u četvrtaste lističe različitih dimenzija.

U novije vrijeme u primjeni je i „tehnologija nano vlakana“, znatno poboljšani oblik papirnog procesa, koji daje rekonstituisani duhan visoke moći punjenja, odlične arome i dobre sagorljivosti.

Folija u mješavinama služi za usaglašavanje zahtjeva pušača i zakonske regulative vezane za maksimalan dozvoljen sadržaj štetnih materija duhanskog dima. U ovisnosti od toga kojim procesom su proizvedene, duhanske folije se razlikuju prema fizičkim (Tabela 4), hemijskim (Tabela 5), kao i degustacionim karakteristikama.

**Tabela 4.** Fizička svojstva folije proizvedene različitim tehnološkim procesima

Svojstva folije	RECON (rekonstituisani duhan)		
	Nano-vlakna	Viskozna	Papirna
Otpornost na kidanje (kg/m)	50 - 60	35	70
Moć punjenja (cm <sup>3</sup> /g)	55 - 65	35	65
Gramatura/m <sup>2</sup>	150	180	110

**Tabela 5.** Razlike u hemijskom sastavu folija proizvedenih papirnim i viskoznim procesom (Nikolić, 2004)

Komponenta	Papirni proces (bez aditiva)	Viskozni proces (bez aditiva)
Voskovi (%)	0,04	0,17
Nikotin (%)	1,57	1,99
Rastvorljivi šećeri (%)	11,8	13,4
Azot (%)		
- ukupni azot	2,32	2,92
- azot nitrata	0,40	0,35
- amonijačni azot	0,061	0,089
Fitosteroli (mg/g)	1,07	1,78
Fenoli (%)	3,03	3,93
Ukupne masne kiseline (mg/g)	1,44	1,49

Folija mora sadržavati 75% osnovne sirovine. Najčešće sadržaj osnovne sirovine se kreće iznad ove vrijednosti, a ako folija sadrži 90% osnovne sirovine onda se može smatrati veoma kvalitetnom.

U hemijskom sastavu folija treba da se nalazi u globalnim granicama sadržaja komponenti kod duhana kao sirovine uopšte. Sadržaj svake komponente pojedinačno i svih zajedno zavisan je od količina i međusobnih odnosa materijala osnovne sirovine, odnosno njihove tipske pripadnosti.

Duhanska folija ima ekonomski i tehnološke prednosti. S obzirom da duhanska folija ima dobru moć punjenja, osnovna joj je namjena da smanji potrebnu masu materijala u cigareti, a na taj način utiče i na smanjenje ukupne proizvodnje dima.

U Tabeli 6 predstavljen je hemijski sastav RT cigarete u čijem sastavu je folija (RECON GC-2, L MAN-Francuska) koja je izrađena od manipulativne sitnjavine od obrade duhana, duhanske sitnjavine od fabrikacija cigareta, neekspandovanog duhanskog nerva, aditiva i celuloznih vlakana).

**Tabela 6.** Hemijski sastav RT cigarete (Đulančić, 2007)

<u>RT cigareta</u>	
<b>Komponenta</b>	mg/cig
Nikotin	0,8
Proteini	6,0
Ukupan azot	2,0
Redukujući šećeri	5,7
Pepeo	18,5



## 5. TEHNOLOGIJA PROIZVODNJE CIGARETA

Da bi se duhan mogao upotrebljavati za izradu blend cigareta potrebno je da se lišće biljke posebno obradi i preradi. Taj dio ciklusa u proizvodnji duhanskih proizvoda počinje već kod proizvođača, sušenjem duhana, nastavlja se otkupom duhana, te odgovarajućim postupcima obrade za svaki tip duhana. Za krupnolisne duhane to je najčešće ižiljavanje i ridraing, a za orientalne i poluorientalne, tonga manipulacija i fermentacija. Odležavanjem u podesnim skladištima duhan dobiva svoja karakteristična svojstva nakon čega je pogodan za upotrebu. Svi ovi procesi (Slika 5) nazivaju se **obrada duhana**.



Slika 5. Šematski prikaz tehnologije obrade duhana

Nakon obrade i odležavanja duhan mora da pretrpi čitav niz fizičkih pa i hemijskih transformacija kako bi se formirala cigareta u kojoj će se odvijati sagorijevanje i formirati dim željenih karakteristika.

Tehnološki proces proizvodnje cigareta (Slika 6) obuhvaća tri faze rada, od kojih svaka ima određenu funkciju u dobijanju proizvoda koji će zadovoljiti krajnjeg konzumenta tj. pušača. To su:

- priprema - objedinjuje procese u kojima se vrši kako fizička, tako i hemijska transformacija sirovina koje ulaze u sastav svitka cigarete;
- izrada cigareta - operacije u kojima se materijal (blend) koji sagorijeva, uz dodatak potrebnih repromaterijala, oblikuje u formu cigarete i
- pakovanje - mehaničko manipulativne operacije grupisanja pojedinačnih cigareta.

## 5. 1. PRIPREMA

Zadatak sektora pripreme je da na temelju utvrđene recepture, napravi duhansku mješavinu, izreže je i pripremi za izradu duhanskih proizvoda. Prethodno je navedeno da se mješavina (blend) za cigarete izrađuje od listova duhana, koji su, u ovisnosti od načina obrade, pripremljeni u formi cijelog lista (SC duhani) ili komadića plojke lista - stripsa (FC i AC duhani) i izdvojenog glavnog nerva - „rebra“. Također, kao sirovina koriste se i duhanska sitnjavina i rekonstituisani duhan - folija.

Prije nego se započne bilo kakav posao sa duhanom, on mora biti raspakovan i izvađen iz pakovnih jedinica u kojima je skladišten. SC duhani upakovani su u bale, dok su FC i AC duhani pakovani u kartonske kutije. U ovisnosti od uslova skladištenja, vлага ovako sabijenih duhana kreće se od 8 do 10%. Da bi rezanje bilo moguće, svaka od ovih sirovina mora da ima

vlažnost pri kojoj se optimalno ispoljavaju njena mehanička svojstva. Iz tog razloga, prvi tretman u pripremnom odjeljenju je pripremno vlaženje, odnosno kondicioniranje duhana. Cij ove radne operacije je povećanje vlage i temperature, čime duhan postaje elastičniji i lakše se razdvaja. Ova operacija ima za cilj i uništavanje insekata.

Postoje dva načina prethodnog vlaženja duhana. Jedan je u vakuum komorama (rjeđe se upotrebljava) i rotacionim uređajima za direktno kondicioniranje (DCC-direct conditioning cilindar). U oba sistema, kontakt između hladnijeg duhana i toplog i vlažnog vazduha rezultira kondenzacijom vode na listu i adsorpcijom.

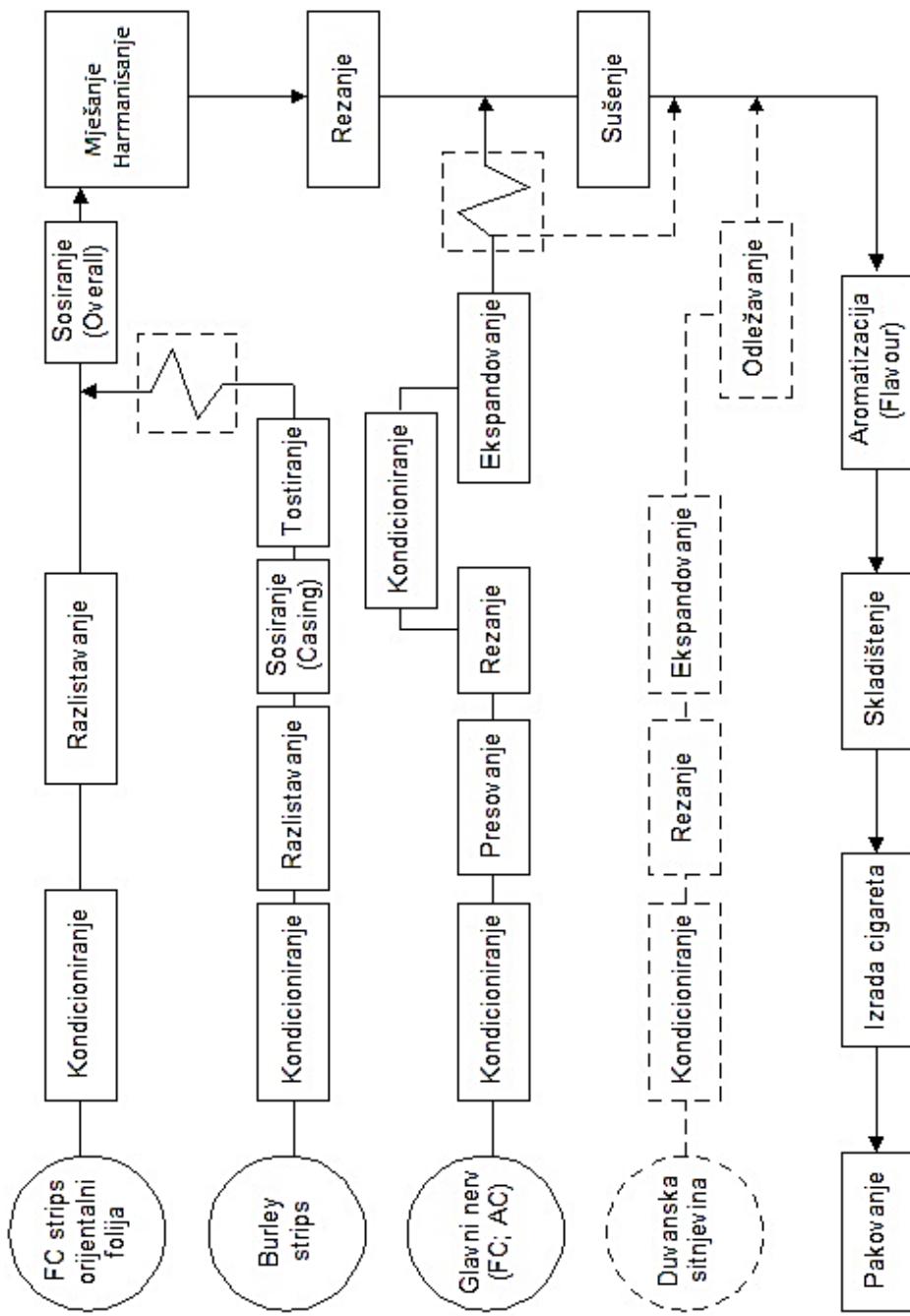
Prije ulaska u cilindar bale se sijeku na posebnom rezaču – horizontalno ili vodoravno na dva ili više dijelova (ovisi o veličini bale, tipu duhana, zbijenosti itd). Pritom se duhan stavlja na traku gdje se nalazi vaga koja mjeri količinu duhana s vlagom od 12-13% i temperaturom od 24 stepena.

Duhan se u cilindru tretira mješavinom pare i vode. Brzina prolaska duhana kroz cilindar podešava se nagibom cilindra (br. obrtaja u minuti) i dužinom cilindra. Da bi postupak vlaženja bio što efikasniji, prvo se vlaže duhani koji su manje osjetljivi na lomljivost, a zatim osjetljiviji duhani (orientalni i duhanska folija). Duhan se u cilindru miješa okretanjem cilindra. U uređaju se ujedno provodi i razlistavanje duhana i automatski se pravi mješavina.

Nakon kondicioniranja svaki tip duhana i materijala (mješavina) ima poseban način pripreme. Stoga, tehnološki proces pripreme sastoji se od:

- tehnološke linije za obradu duhanskog nerva,
- tehnološke linije za obradu berleja,
- linije miješanja (blendiranja, harmanisanja) i
- linije rezanja, sušenja i aromatiziranja.

Svaka od ovih linija biće posebno obrađena, radi lakšeg razumijevanja materije.



**Slika 6.** Šematski prikaz operacija u proizvodnji cigareta  
(Nikolić, 2004.)

### 5. 1. 1. Tehnološka linija za obradu duhanskog nerva („rebra“)

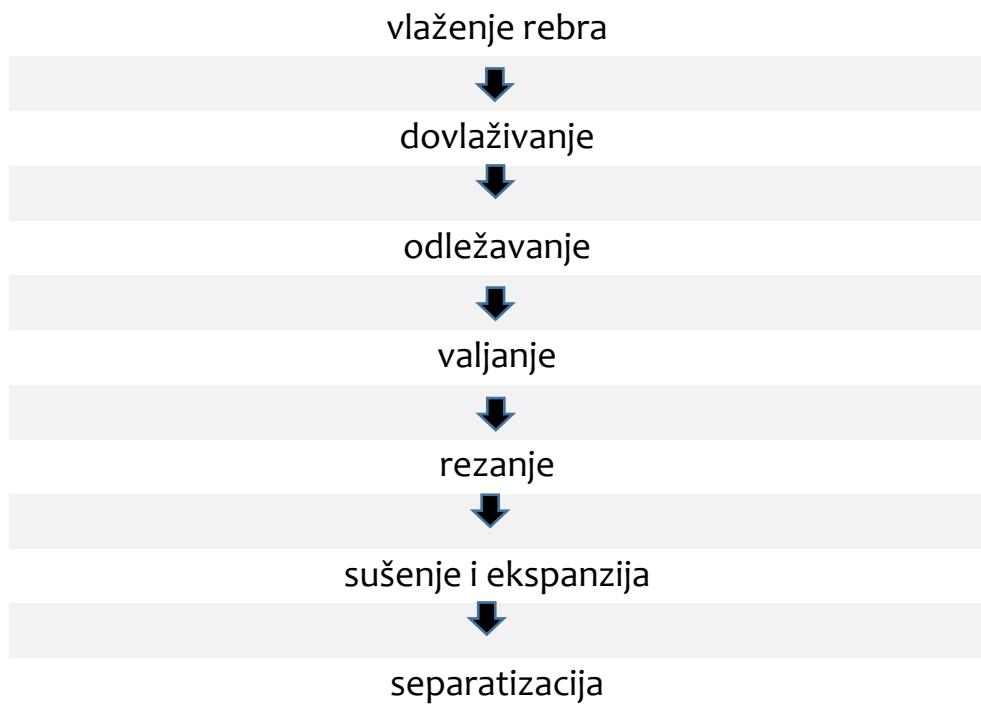
Djelovi lisne nervature koju su izdvojeni u procesu ižiljavanja virdžinije i berleja, u procesu pripreme duhana, za izradu cigareta, posebno se tretiraju na liniji za ekspandovanje glavnog nerva.

Rebro se iz magacina neprerađenih duhana na odjeljenje pripreme doprema u kartonskim kutijama C<sub>48</sub> težine 200–220 kg u kojima je čuvano sa vlažnošću od 8% do 10%. Radnik otvara kutije, viljuškar ih stavlja u uređaj koji rebro istresa na dozator, čija je uloga transport nerva do kondicionera koji se puni preko posebno kontrolisane „hranilice“ (protočne vase), kako bi sloj duhanskog nerva bio ujednačen i tanji radi bolje apsorpcije vlage.

Glavni nerv duhana pneumatskim putem se dovodi do vibro sita. Svrha pneumatskog transporta je čišćenje lisnog nerva od prašine, koja je nastala u samom procesu trešinga. Donje insercije uvijek nose veliki procenat prašine, naročito ako su godine kišne. Pneumatski transport je u stvari sistem koga čine motor, ispred kojeg je filtersko postrojenje i cjevovod. Vibro sito izdvaja nepoželjne sitne frakcije rebara (prljaju liniju, loše se režu i loše se ekspandiraju), koje se zadržavaju u filterskom postrojenju.

Rebro se dalje prenosi do uređaja za prethodno vlaženje. To je ustvari pužasti transporter u profilisanoj cijevi, čiji se unutrašnji plašt grije i u samom uređaju su smještene kombinovane dizne koje dodaju vodu i paru u skladu sa zadatim parametrima.

Za prethodno vlaženje/kondicioniranje glavnog nerva potrebna je nešto specifičnija oprema. Postupak koji se danas, gotovo isključivo koristi za ekspandovanje glavnog nerva (Slika 7) duhana je klasični CRS Hauni proces, gdje se kao medij koristi voda. Prednost toga postupka je, jednostavnost i, što nema dodatka strane supstance. Nedostatak je niži stepen ekspanzije.



**Slika 7.** Šema tehnološkog procesa proizvodnje ekspandovanog nerva

Rebro se, u samom uređaju, zadržava oko 3 minute uz konstantan protok i kontrolisano dodavanje vode i pare, tako da na kraju rebro napušta uređaj sa vlažnošću od 30 – 32%.

Nakon toga, navlaženo rebro se sa dva trakasta transporterom prebacuje u jedan od dva silosa, gdje odležava minimalno 4 sata, a obično 24 sata po sendvič sistemu (virdžinija – berlej – virdžinija) kako bi se vlaga egalizirala prije dalnjih faza proizvodnje ekspandovanog nerva. Duhanski nerv nakon odležavanja u silosu, u toku kojeg je postignuta egalizacija i dubinsko usvajanje vlage u tkivo rebra, ide u II fazu proizvodnje, koja počinje praznjnjem silosa, na trakasti transporter.

Trakasti transporter dovodi nerv na mjernu cijev i mjernu traku čija je funkcija obezbijediti kontinuitet protoka kroz dovlaživač. Uloga dovlaživača je da se nerv malo zagrije i podigne vlagu za dodatnih 1%, te tako ga učini pogodnjijim materijalom za valjanje. Odmah nakon prolaska kroz dovlaživač, rebro ulazi u valjačicu, gdje se **presuje na debljinu od oko 0,8 mm.** Valjanjem tj. presovanjem rebra je olakšano formiranje sloja za rezanje („topa“ rebra), te samim tim i kvalitetnije rezanje. Nakon valjačice, presovano rebro prolazi kroz metal detektor, kako bi se izbacilo rebro u kojem je registrovan strani predmet, a sve u interesu čuvanja rezačice od oštećenja noževa i ostalih sklopnih elemenata. Nakon toga, rebro se reže u rezačici koja se sastoji od: vibro hranioca, usta mašine (rezačice) koja formiraju „top“, rotirajuće glave, koja na sebi nosi osam noževa, i elektro ormara koji upravlja i vrši sinhronizaciju svih elemenata rezačice u skladu sa parametrima koje je zadao operater.

Izvaljano rebro ulazi u rezačicu putem posebno kontrolisane „hranilice“ (protočne vase) koja unosi rebro u usta mašine, u čijem sastavu su dva pokretna lanca postavljena pod uglom. U ovom dijelu mašine ti lanci formiraju tzv. top rebra. Top je zbijena masa za rezanje, odnosno presovani sendvič materijal za rezanje. Formirani top rebra, na izlazu, dolazi u kontakt sa rotirajućom glavom sa 8 noževa, pri čemu se vrši njegovo rezanje **na zadatu širinu reza koja se kreće od 0,17 mm do 0,20 mm.** Izrezani lisni nerv izlazi iz rezačice na vibrirajući transporter i smješta se u mini silos.

Kad se stvori dovoljna zaliha lisnog nerva, starta kosa traka za pražnjenje, koja puni mjernu cijev i vagu. Mjerna cijev i vaga obezbjeđuju kontinuiran protok kontrolisane količine rezanog nerva, u uređaj gdje se vrši ekspanzija (HT tunel), pod utjecajem brzog dovoda toplote (oko 165 °C), putem pare visokog pritiska (6-7 bara). Nakon HT tunela, zagrijan nerv (104 do 110 °C), vlažnosti od 32 do 34% ulazi u sušionik. U prvoj zoni sušenja dočekuje ga temperatura od oko 150 °C, a u drugoj zoni temperatura od oko 125 °C. Da bi se postigao puni efekt ekspanzije, bitno je u što kraćem vremenskom intervalu oduzeti višak vode nervu i svesti njegovu vlagu na oko 13,5%.

Nakon sušenja ekspandovani lisni nerv ulazi u klasifikator, koji ima ulogu da putem strujanja vazduha, odvoji uspješno ekspandovani lisni nerv od teže

frakcije, koja ispada iz klasifikatora na transportnu traku. Uloga transportera, u vidu vibro sita, je da razdvoji neuspješno izrezanu krupniju frakciju, koja se vraća nazad u proces, ispred rezačice, od sitnije frakcije (nokauta) koja se skuplja u kartonske kutije i koristi u izradi duhanske folije.

Ekspandovani lisni nerv se pneumatskim putem transportuje do cilindra gdje se apliciraju aditivi (aroma). Nakon aromatiziranja, ekspandovani nerv prelazi preko vibro sita kako bi se odvojila sitnjavina, a zatim se puni u kutije. Kutije se označavaju odgovarajućim *batch brojem* (služi za praćenje datuma proizvodnje) i smještaju u posebnu prostoriju da odleže najmanje 2 dana prije upotrebe. Ovo odležavanje je nužno kako bi se vлага egalizirala i kako bi rebro apsorbiralo sve tragove arome sa površine, koji bi inače mogli uzrokovati probleme, kao što su fleke na cigaret papiru. S druge strane, ni predugo odležavanje rebra nije poželjno.

Na koji način izvaljano i izrezano rebro svojim dimenzijama oponaša izrezani duhanski strips, odnosno izrezanu lisnu plojku, navedeno je u Tabeli 7.

**Tabela 7.** Debljina i širina reza lisne plojke duhana i duhanskog nerva

Naziv materijala	Debljina (mm)	Širina reza (mm)
Lisna plojka duhana	0,15 – 0,20	0,8
Presovani lisni nerv duhana	0,8	0,15 – 0,20

Iz tabele 7 se može vidjeti da se rebro u rezačici reže na širinu od 0,15-0,20 mm koja se podudara sa prirodnom debljinom lisne plojke i da se debljinom valjanja rebra od 0,8 mm oponaša širina reza lisne plojke.

Nakon ekspandiranja duhan je suh i jako lomljiv. Ponovo se vlaži do željenog nivoa, kako bi postao elastičan i podesan za manipuliranje. Dodavanje

ekspandovanog lisnog nerva, u mješavini za izradu cigareta, obavlja se nakon rezanja, a prije aromatiziranja mješavine.

### 5. 1. 2. Tehnološka linija pripreme berlej duhana

Duhan tipa berlej prolazi poseban način pripreme, kako bi se mogao na adekvatan način upotrijebiti u mješavini za izradu cigareta. Ovaj tip duhana ima veoma porozno tkivo koje može da apsorbuje različite additive (casing) i do 25 masenih procenata. Zato se ovom duhanu, prije postupka miješanja (blendiranja, harmanisanja) sa ostalim komponentama mješavine za izradu cigareta, prvo dodaje casing. Zatim se, kraći vremenski period, izlaže dejstvu povišenih temperatura što se naziva tostiranje.

Berlej po recepturi za datu cigaretu u kartonskim kutijama (težine od 160 do 200 kg) iz magacina, u tehnološki proces tj. pripremu duhana dolazi sa vlagom od 8-10%. Radnici otvaraju kutije, a elektro viljuškar ih stavlja na radni sto, na kojem je obezbijeden kontinuitet protoka do posebnog uređaja za rezanje (slajsera). Vertikalni slajser počinje sa rezanjem bala na pet ili šest kriški (slajsova), što je u direktnoj vezi sa zadanim protokom. Slajsevi se slažu na beskonačnu traku, jedan do drugoga. Kad prvi slajs dođe na vrh trake, foto ćelija registruje duhan i automatski se pali vibro transporter koji uvodi duhan u rotirajući cilindar za direktno kondicioniranje (DCC).

Prije startanja, DCC mora biti predgrijan na radnu temperaturu ( $70^{\circ}\text{C}$ ). Cilindar je tako urađen da duhan u samom cilindru pored vlaženja, razlistavanja, dobrim dijelom se i miksa, odnosno miješa. Sam unutrašnji plastični rotirajući cilindar, po sebi ima simetrijski raspoređene šiljke, koji potpomažu razlistavanje, kao i kombinovane dizne voda plus para, koje daju vlagu duhana na zadatu vrijednost.

Berlej iz cilindra izlazi sa temperaturom od 65 do  $70^{\circ}\text{C}$  i vlagom od 20–21% u ovisnosti o kojoj je cigaretu riječ. Trakastim transporterom, duhan ulazi u

klasifikator gdje se na principu razlika u specifičnoj težini odvajaju neduhanski materijali, koji bi u dalnjem procesu mogli izazvati štete (npr. lomove noževa na rezačici i neugodne mirise pri sagorijevanju cigarete).

Iz klasifikatora duhan dolazi na mjernu vagu, čija je uloga kvalitetno doziranje casinga (sosa). Nakon vaganja, duhan dolazi na vibro sito, gdje se odstranjuju sitne frakcije, koje bi u dalnjem procesu prljale uređaje i bile opasnost za upijanje većih količina sosa. Preko vibro sita duhan ulazi u casing cilindar (PC), koji je prethodno zagrijan kako bi se izbjegla pojava kondenzata. Rezervoar za casing nalazi se u blizini PC cilindra. Casing se priprema minimalno 30 minuta prije aplikacije i grije se na temperaturu od 55–60 °C. Za sve sosove koji su grijani, kao medij za postizanje fine disperzije koristi se tehnološka para. Nakon određivanja sastava otopine kojom će se berlej tretirati, svi sastojci se miješaju i otopina održava na temperaturi od 60 °C. Količina otopine određuje se na 1.000 kg suhe mase Berleja.

Berlej, koji je primio casing, napušta casing cilindar sa uvećanom vlagom, koja se kreće od 31 do 33%. Pada na vibro transporter, smješten ispod cilindra, a potom na beskonačnu traku, koja duhan nosi do kolica za punjenje silosa za odležavanje sosiranog berleja. Sosiran duhan odležava u silosu oko 2 sata, kako bi casing što bolje prodro u parenhim lisne plojke i vлага se egalizovala, odnosno ujednačila. Nakon odležavanja, berlej se preko sistema za pražnjenje prenosi do tostera uređaja u kojem se kraći vremenski period izlaže utjecaju povišenih temperatura, što se naziva tostiranje. Toster je tunelskog tipa, građen od inoxa, podijeljen u tri zone:

- I zona (*tosting zona*),
- II zona (*zona hlađenja*) i
- III zona (*zona dovlaživanja*).

**I zona (tosting zona)** se sastoji od tri podzone u kojima vladaju različiti temperaturni režimi:

- prva podzona (temperatura od 40-60 °C),
- druga podzona (temperatura od 90-100 °C),
- treća podzona (temperatura od 100-150 °C).

U prvoj podzoni duhan ulazi sa temperaturom od 25 °C, gdje doživljava prvi temperaturni šok. U ovoj podzoni vrši se lagano odstranjivanje mirisa i para koje nastaju zagrijavanjem duhana. Obzirom da zagrijavanjem duhan gubi postepeno vlagu, automatika uvijek nastoji održati zadalu temperaturu koja se gubi sa prolaskom duhana.

Vrlo bitno je napomenuti da, u prvu podzonu, duhan treba da uđe sa optimalnom vlagom, te da sloj duhana (tepih) bude ujednačen po čitavoj traci. Berlej kroz prvu podzonu, nošen beskonačnom perforiranoj trakom, prođe za oko 5 minuta.

Druga podzona također posjeduje grijač, iznad koga su smještene dva ventilatora koji "guraju" ambijentalni zrak kroz sače grijača. Zagrijani zrak se sistemom perforiranih limova (od inoksa) usmjerava i srazmjerno distribuira kroz tepih duhana. U ovoj podzoni djelimično se dešava karamelizacija tj. zatvaranje šećera u parenhim lisne plojke. U ove dvije podzone topli vazduh se ravnomjerno distribuira pomoću ventilatora sa gornje strane duhana.

U trećoj podzoni zagrijani zrak se sistemom perforiranih limova usmjerava i srazmjerno distribuira sa donje strane sloja duhana, prema gore. S obzirom da se u ovoj podzoni vrši najlaganije otpuštanje vlage, možemo je još nazvati i *zona korekcije vlage*. U sve tri podzone nastala isparenja se odsisavaju do praonice zraka, tako da se čist zrak ispušta u atmosferu.

Poslije tosting zone je **zona hlađenja (II zona)**, gdje se duhanu snižava temperatura na 50 °C. U ovoj zoni duhan ima vlagu od 7-9%. Hlađenje se vrši preko tornja za hlađenje, gdje hladan vazduh kruži oko duhana.

**U III zoni (zoni dovlaživanja)** su smještene kombinovane dizne, voda + para. Količina vode i pare zavise od propisane vlage berleja na izlazu iz tostera, koja se u prosjeku kreće od 19-20%. Navlažen duhan dolazi na vagu, nakon čega ulazi u cilindar za aromatiziranje. Aromatiziranje se vrši, kombinovanom diznom, aromat + komprimirani vazduh, preko sistema za aplikaciju koji je uvezan u cijelokupni sistem.

Nakon aromatiziranja, duhan se smješta u silose za obrađeni berlej. Iz silosa, preko mjerne cijevi i vage, berlej se dozira u datu mješavinu prema recepturi.

### 5. 1. 3. Tehnološka linija miješanja (blendiranja, harmanisanja)

*S*lobzirom da je berlej pripremljen, stvoreni su uslovi da se može startati sa pripremom ostalih raspakovanih sirovina mješavine, a to su: FC, SC duhani i duhanska folija. Ove sirovine se samo kondicioniraju ili obrađuju posebnom vrstom aditiva.

FC duhan iz cilindra za kondicioniranje izlazi sa temperaturom od 65 do 70 °C i vlagom od 20 do 21%. Virdžinija na izlazu iz PC cilindra, u ovisnosti od recepture za datu cigaretu, ima uvećanu vlagu 1 do 2%, u odnosu na cilindar za direktno kondicioniranje.

SC duhani i folija također prolaze proces kondicioniranja, kao i virdžinija, samo što se tonga bale ne sijeku, nego bajpasom dolaze na traku sa ugrađenom vagom u cilindar za direktno kondicioniranje. Nakon kondicioniranja, folija se dodaje neposredno pred silos za završno blendiranje. Berlej se preko mjerne cijevi i vage tačno dozira po propisanoj recepturi za datu cigaretu. Obrađeni berlej se miješa sa ostalim pripremljenim duhanima u silosu za blendiranje/harmanisanje.

U većini slučajeva silosi (harmanjerke) se sastoje od unakrsnog prenosnika i trake za blendiranje. Duhan se može dozirati na traku za blendiranje postupnim ili stalnim kretanjem unakrsnog prenosnika. Stalno kretanje je bolji način, jer je miješanje ujednačenije.

Postupkom miješanja duhana treba da se postignu dva cilja:

1. ravnomjerno raspoređivanje raznih vrsta duhana u ukupnoj masi mješavine i
2. ujednačavanje vlage.

Od posebne je važnosti postići prvi cilj, pa se miješanje mora izvoditi pažljivo i dugotrajno.

Kad se završi blendiranje, odnosno harmanisanje, duhan mora odležati minimum 1 sat kako bi nanešeni casing prodro u parenhim lisne plojke i vлага se egalizovala tj. ujednačila.

#### 5. 1. 4. Tehnološka linija rezanja, sušenja i aromatiziranja

*Nakon završenog miješanja, u daljem procesu pripreme, slijedi faza rezanja. Osnovna funkcija ove tehnološke operacije je pretvaranje duhanske mješavine u vlakna određene širine i dobijanje rastresite duhanske mase pogodne za izradu cigareta. Odnosno, treba da se postigne najveća moguća voluminoznost rastresite rezane duhanske mase i stvaranje najmanjeg mogućeg procenta sitnjavine i prašine.*

Duhan iz silosa za blendiranje, trakastim transporterom, prolazi kroz tunel za kondicioniranje, u kojem se prilagođavaju vлага i temperatura stripsa za uslove rezanja. U tom dijelu se otklanjaju i sve strane materije, posebno metalni dijelovi, koje otkriva poseban detektor. Duhan koji je detektor izdvojio, radnica prebere sa permanentnim magnetom. Vizuelno prebrani duhan, također, ide na rezanje sa matičnom mješavinom. Potom, duhan ulazi u dozator, odakle se prijenosnom trakom ujednačeno prenosi na uređaj za rezanje (rezačica).

**Rezanje** se izvodi veoma oštrim noževima izrađenim od inoksa. Noževi su postavljeni po obodu valjka koji rotira, tako da razmak između njih odgovara širini reza. Najpovoljnija širina reza za cigarete je od 0,6 do 0,8 mm.

Noževi odsijecaju sloj po sloj prethodno sabijenog duhana, tzv. „top“. Za kvalitet rezanja od izuzetne važnosti je pravilno sabijanje duhana u „top“. Da ne bi došlo do umanjenja „moći punjenja duhana“, pritisak u „topu“ treba biti što je moguće niži, a u skladu sa pravilnim rezanjem. Iz tog razloga, pravilnost operacije rezanja mora se stalno provjeravati

određivanjem tzv. frakcionog sastava. Odnosno, za svaki kvalitet mješavine određen je minimalni procenat sadržaja pravilno izrezanog duhana, kao i sadržaj širih i užih vlakana i sitnjavine. Taj se odnos provjerava na uzorku od 100 g rezanog duhana, na posebnim sitima sa otvorima širine reza i užim (obično 5 dimenzija otvora). Ukoliko ne odgovara zadatom, parametri opterećenja za zbijanje „topa“ moraju se ponovo podesiti.

Za rezanje duhana u listu, danas se najčešće koriste Hauni rezačice KT-2. Kapacitet jedne rezačice je 4 t/h. Ovaj tip rezačice, u odnosu na druge, ima značajnu prednost, zbog povoljnijeg položaja noževa, u odnosu na „top duhana“. Nož je postavljen pod uglom i samim tim je smanjen otpor pri rezanju. Pritisak „topa“ je nešto manji, te je i degradacija duhana u samom „topu“ manja.

Bez obzira na tip rezačice postoje određeni standardi koji se moraju postići u procesu rezanja, kao što su :

- *ciljna širina reza mora biti stalna, jer je to važan parametar u određivanju „moći punjenja“, a također ima utjecaj i na količinu formiranog TAR-a i nikotina;*
- *izrezani duhan treba imati što više dugih i srednjih frakcija, a što manje sitnjavine i prašine.*

Također, vлага i temperatura mješavine prilikom rezanja imaju veliki utjecaj na „moć punjenja duhana“ i veličinu izrezanih frakcija. U ovisnosti od tipa rezačice, duhan je najbolje rezati na temperaturi između 45 i 50 stepeni, s vlagom od 20 do 23%. U ovakvim uslovima rezanja najveći je postotak dugih vlakana, najmanje prašine, a „moć punjenja duhana“ se ne smanjuje.

Nakon završenog procesa rezanja, izrezani duhan, kroz žlijeb, pada u kanalizirani vibrirajući prenosnik, tako da se stanje rezanja može kontrolisati, prije nego rezani duhan ode u sušionik.

**Sušenje** rezanog duhana izvodi se u rotacionom cilindru (od inoksa). U unutrašnjem dijelu sušionika, duhan se miješa sa toplim zrakom i predaje mu višak vlage. Postoje dva tehnička rješenja za miješanje toplog vazduha

i duhana. Jedno je da duhan i vazduh ulaze sa iste strane, i da, praktično, duhan bude nošen strujom vazduha kroz cilindar, te se tokom kretanja izvrši razmjena vlage. Drugi slučaj, koji se danas i najčešće koristi, je da se topao vazduh, putem cijevi, uduvava u cilindar iz pravca suprotnog kretanju duhana, što uslijed veće relativne brzine intenzivira proces. Bez obzira o kojem slučaju se radi, na ovom dijelu opreme, od najveće važnosti je dobra i precizna regulaciona oprema: mjerači vlage na ulazu i izlazu i regulatori protoka, koji pored automatske kontrole moraju da pruže i mogućnost manuelnog podešavanja.

Iz unutrašnjosti sušionika mora se redovito odstranjavati prašina i dio vazduha zasićen parom, koja nastaje prilikom sušenja, čime se poboljšava prenos topline, te poboljšava i sam postupak sušenja. Temperatura duhana nakon sušenja kreće se od 50 do 55 °C. Vlažnost duhana je potrebno dovesti na nivo od  $12 \pm 0,5\%$ , što ujedno predstavlja i radnu vlagu u svim narednim operacijama sa duhanom.

Nakon izlaska iz sušionika, putem trakastih transportera, izrezanoj duhanskoj masi se dodaje ekspandovani nerv, duhanska sitnjavina sa dodatim refabrikatima. Ove komponente, putem dozatora, se procentualno doziraju, prema recepturi za cigarete.

Nakon sušenja, završna operacija u pripremi je **aromatizacija**, odnosno dodavanje „top flavoura“ za formiranje konačnog i ukupnog okusa i arome mješavine. Prije dodavanja flavora, duhan se mora ohladiti, jer u slučaju da mu je temperatura viša dio aromata može da ispari. Hlađenje se obezbjeđuje putem pneumatskog transporta duhana do uređaja u kojem se vrši dodavanje flavor-a (cilindar za aromatizaciju). Duhan u cilindru za aromatiziranje ne bi smio imati veću temperaturu od 30 °C.

Cilindar za aromatizaciju, također je izgrađen od inoksa. U unutrašnjem dijelu cilindra smještene su „peraje“ koje imaju funkciju laganog transporta duhana kroz cilindar. Na ulaznom dijelu cilindra smještene su kombinovane dizne (zrak + aromat), preko kojih se flavor aplicira na mješavinu. Stoga, oprema za mjerjenje brzine kretanja duhana i njegove količine u protoku, mora biti veoma precizna i u skladu sa regulatorima protoka flavor-a.

Pripremljena mješavina skladišti se u silose rezanog duhana, gdje odležava minimum 8<sup>h</sup>, da bi joj se svojstva ujednačila, odnosno stabilizovala. Prostor gdje pripremljeni rezani duhan odležava treba da je klimatizovan, jer je duhan veoma higroskopan (relativna vлага 60 do 65% i temperatura 20 do 22 °C). Pripremljena mješavina, iz silosa za odležavanje, pneumatskim putem se transportuje u odjeljenje za izradu cigareta.

## 5. 2. IZRADA CIGARETA

*T*ehnološki proces izrade ima za cilj da od pripremljene rezane mješavine, uz dodatak repromaterijala, izradi cigaretu sa dobim tehničkim i pušačkim svojstvima koja će zadovoljiti zahtjeve potrošača.

Izrada cigareta provodi se na posebnim mašinama, koje su potpuno automatizovane i kompjuterski „vođene“, a rad sistema kontrolišu samo dva radnika. Za razliku od prvih mašina, koje su proizvodile od 200 cig/min, današnje mašine, za izradu cigareta, posjeduju velike brzine i rade do 16.000 cig/min. Iz tog razloga, neophodno je da se priprema duhana za izradu na ovim mašinama izvede veoma kvalitetno, jer je tolerancija u parametrima rezanog duhana kod visokobrzinskih mašina minimalna.

Tehnološki proces izrade cigareta objedinjen na mašini za izradu cigareta, obuhvata slijedeće operacije:

- punjenje rezervoara (koša) mašine rezanim duhanom,
- formiranje beskrajnog svitka,
- ovijanje svitka cigaret-papirom i spajanje/ljepljenje krajeva papira,
- rezanje cigaretog štapića na odgovarajuću dužinu (obično dužina dvije cigarete) odnosno formiranje cigaretog štapića,
- pripajanje filtera cigaretnom štapiću i ovijanje korkom,
- razdvajanje/siječenje cigaretnih štapića na pojedinačne cigarete,
- transport i sakupljanje pojedinačnih cigareta prije pakovanja.

Punjene rezervoare na mašini za izradu cigareta mora biti ujednačeno i ravnomjerno po cijeloj površini. Iz tog razloga, u košu nikada ne smije biti ni previše ni premalo duhana. Ravnomjerna količina duhana u košu može se obezbijediti ukoliko rezani duhan ima ujednačenu i optimalnu vlagu ( $12 \pm 0,5\%$ ), dobar i ujednačen frakcioni sastav.

Duhan, iz koša mašine, pada na beskrajno platno, gdje se od rezanog duhana formira beskonačni valjkasti svitak. Dimenzije svitka konačno se određuju njegovim prolaskom kroz prsten formata cigarete. Beskrajno platno je olučastog oblika i na prednjem dijelu ima uski kanal kroz koji prolazi rub cigaret-papira, radi lijepljenja. Tu svitak biva obavljen cigaret-papirom koji je prethodno profilisan (naziv cigarete i sl.), a ovaj, potom preklopljen. Širina preklopa (falca) mora uvijek biti ista, tj. 2 mm. Specijalnim diznama, na falc cigaretног papira, aplicira se ljepilo koje je pripremljeno za ovu namјenu. Nakon svega, svitak prolazi kroz zadnji dio formata, gdje se profiliše na odgovarajuću veličinu prečnika (dijametra) cigarete. Zatim, svitak prolazi ispod specijalnog uređaja „pegle“, koji se strujom zagrijava na oko  $200^{\circ}\text{C}$ , gdje se ljepilo suši. Nakon izlaska ispod „pegle“ konačno zatvoren, omotan i zalijepljen svitak ulazi u mikrovalnu glavu mašine, gdje se posebno oštrem nožem reže na dijelove dužine dvije cigarete (obično  $2 \times 65$  mm).

S obzirom da se danas preferiraju filter cigarete, na istoj mašini nalazi se i uređaj za pripajanje filtera, koji se sastoji od magazina (skladišta) za filtere, noža za sječenje filter štapića na dva, tri ili više dijelova. Filter štapići ulaze u uređaj (obično su dugački 120 mm) za pripajanje filtera i oštrim nožem se režu na tri jednaka dijela (40 mm). Izrezani filter štapić se ubacuje između dvije prethodno izrezane cigarete. Potom se obavlja omotovanje filter štapića i dijela cigarete, filter omotačem, odnosno korkom. Kork uz filter, obično obuhvata 3 mm cigaretног svitka. Nakon toga, ta dvostruka cigareta se reže i dobijamo konačno gotovu filter cigaretu.

Gotove cigarete ne idu na pakovanje odmah nakon izrade, već trebaju jedno vrijeme odležati u posebnim rezervoarima za odlaganje gotovih

cigareta (slagajne ili baferi<sup>13</sup>), obično u kontrolisanim uslovima (temperatura 18-20 °C; vлага 65%). Odležavanje cigareta traje od 2 do 8<sup>h</sup>, što je dovoljno da rezani materijal povrati optimalna fizička svojstva, koja su, brojnim mehaničkim dejstvima u procesu izrade, bila ugrožena. Kvalitet cigareta se u tom periodu stabilizuje i ujednačava, pa je proces pakovanja lakši i sa manje gubitaka i mehaničkih oštećenja (osipanje krajeva, odvajanje filtera i sl.)

### 5. 3. PAKOVANJE CIGARETA

*S*a izradom pojedinačnih cigareta, određenih fizičkih karakteristika, tehnološki dio posla je faktični završen. Gotove cigarete treba dalje proslijediti na tržište, a da se pri tome one fizički ne oštete i da im se kvalitet ne ugrozi isušivanjem ili ovlaživanjem u kontaktu sa stranim materijalima. Stoga, nakon izrade, cigarete se pakaju prvo u pojedinačna, a zatim u grupna i transportna pakovanja. Sve vrste pakovanja moraju biti suha, čista, bez stranih mirisa i sigurna u transportu.

U savremenoj poizvodnji cigareta postoji veći broj mašina za pakovanje različitih sistema i tipova, ovisno o konstrukcijskoj izvedbi i namjeni. Iako svaka marka pakerica ima svoje osobenosti, postoje neki osnovni principi na temelju kojih one rade (Slika 8).

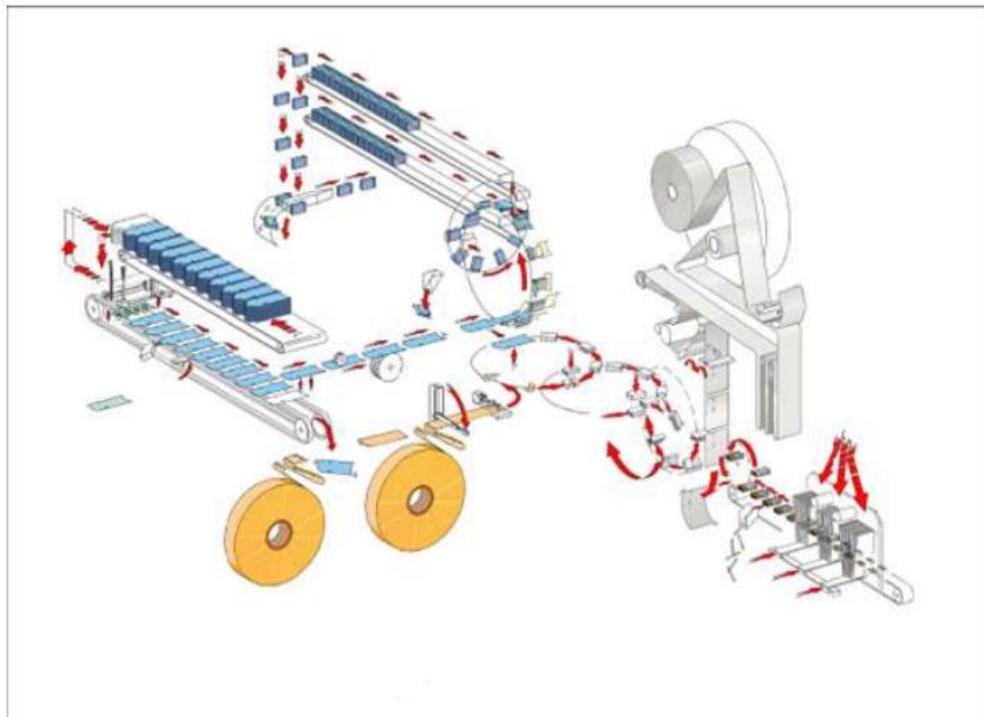
Proces pojedinačnog pakovanja (tzv. „ulaganje“) započinje u uređaju za primanje i razdvajanje cigareta, koji se naziva distributor ili koš pakerice. Cigaretе koje dolaze iz posebnog dijela za odlaganje grupišu se, u ovom uređaju, u vertikalnim redovima (najčešće 20 u tri reda 7-6-7). Potreban broj cigareta, posebnim priključkom, odvaja se u navedene grupe od po 6 ili 7 komada.

Slijedeći dio na pakerici je uređaj za izradu, formiranje i dodavanje neodvojive ambalaže (folija, papirna ili kartonska kutija). Kod ovog uređaja

---

<sup>13</sup>b a f e r - eng. buffer box - rezervoar između dva povezana procesa

od izuzetne važnosti je da se papir ili karton pravilno savije i da na određenom mjestu napravi prelom pod pravim uglom. Na ovom uređaju je smješten i magazin za blankete ispod kojeg se nalazi gumeni valjak za utiskivanje šifri. Daljnjem kretanjem kutija prolazi kroz aparat za lijepljenje na kojem se nanosi ljepilo na dijelove blankete koji će biti zalijepljeni. Nakon toga, blanketa ide na kalup za formiranje kutije, koji je već prethodno primio aluminijsku foliju iz posebnog uređaja. Folija je namotana na bobinu, odakle se posebnim mašicama vuče pod nož za sječenje. Odsječeni komad folije zahvaća kalup za formiranje kutije, sklapanjem nalijepljenih dijelova.



**Slika 8.** Šematski prikaz mašine za pakovanje cigareta

U uređaju za punjenje i zatvaranje pakovnih jedinica cigarete se umeću u prethodno formirane kutije, ili se blanketa omotava oko samih cigareta koje su prethodno umotane u aluminijsku foliju, ovisno o tehničkoj izvedbi

uređaja. Kontrola broja cigareta u kutiji provodi se, prije nego što cigareta dođe u kutiju, posebnim senzorom. U slučaju da nije odvojen potreban broj cigareta, takvu kutiju uređaj automatski izbacuje kao neispravnu.

Nakon punjenja, na kutije sa odgovarajućim brojem cigareta, na posebnom uređaju se lijepi porezna markica, nakon čega kutija kanalom ide pod peglu za sušenje lijepila. Zatvorene i pravilno oblikovane kutije, sa poreskom markicom, dodatno se oblažu celofanom sa cep-trakom na posebnoj jedinici mašine, čime je završen proces pojedinačnog pakovanja.

Najzastupljenije forme pojedinačnog pakovanja su:

- *meko pakovanje, kod kojeg je kutija izrađena od papirnog okvira (blankete) otvorenog na jednom kraju gdje se vade cigarete, i*
- *tvrdo pakovanje, kod kojeg je kutija izrađena od finog kartona, slična kutiji za meko pakovanje, ali sigurnija od gnječenja.*

Pored osnovne funkcije (zaštita i konzervacija proizvoda) pojedinačno pakovanje treba da proizvod učini atraktivnim i prihvatljivim na tržištu.

Postoje i druge forme, koje se sporadično koriste, kao što su kutija na preklop od raznih vrsta materijala i metalni ili plastični kontejneri. Najveći broj pakovanja sadrži 20 cigareta. Često je i pakovanje od 25 cigareta, a rjeđe se mogu naći pakovanja od 10 ili 100 cigareta.

Nakon pojedinačnog pakovanja slijedi grupno pakovanje. Grupno pakovanje sastoji se u odvajanju 10 paklica, koje se na posebnom uređaju povezanom sa pakericom, pakuju zajedno, omotovaju mekim ili tvrdim papirom i ponekad celofaniraju („šteke“). Radi lakšeg i sigurnijeg transporta „šteke“ se pakuju u kutije od tvrdog kartona, takozvano transportno pakovanje. Svaka transportna jedinica nosi na sebi naljepnicu s potrebnim podacima.

Transportne jedinice cigaretarnih pakovanja smještaju se u magazin gotove robe, gdje bi trebala biti barem desetodnevna zaliha. Pri skladištenju treba voditi računa o broju kutija na jednoj paleti, o jednostavnosti manipulacije, a posebno o uslovima u skladištu. Optimalni uslovi su pri temperaturi od 15

°C i relativnoj vlagi od 65%. Osnovni kriterij je da magazini moraju biti suhi, prozračni, čisti, bez stranih mirisa, bez magazinskih štetnika i mogućnosti pojave plijesni.

#### **5. 4. KONTROLA KVALITETA U PROCESU PRIPREME, IZRADE I PAKOVANJA CIGARETA**

*Kontrola duhana i procesa u pripremi uglavnom se svodi na mjerjenje vlage i temperature, kao najvažnijih vanjskih faktora za optimalno provođenje ovih operacija. Mjerjenje temperature i vlage obavlja se u svakoj radnoj operaciji koja je značajna u procesu pripreme (npr. prije i nakon vlaženja, prije, u toku i nakon sosiranja, blendiranju, aromatiziranju i rezanju mješavine). Kontrolira se i ujednačenost dodavanja sosa. S obzirom na modernu sofisticiranu opremu, ovi parametri uglavnom se kontrolišu automatski. Prema tome, osnovni kriteriji kvaliteta u procesu pripreme su:*

- *temperatura i vлага u svim tehnološkim operacijama,*
- *fizičko oštećenje duhana,*
- *kvalitet mješavine,*
- *sastav sosova i aromata i provođenje sosiranja i aromatiziranja,*
- *čistoća reza,*
- *širina reza i vlaknatost.*

U procesu izrade i pakovanja cigareta može se kontrolisati sam proizvodni proces ili proizvodi koji izlaze iz tog procesa (pojedinačne cigarete ili cigaretna pakovanja). Tehnolozi i stručnjaci koji se bave kontrolom, najviše pažnje posvećuju kontroli određenih parametara cigareta kao što su:

- masa cigareta,
- promjer cigarete,
- napunjenošć vrha cigarete,
- prisutnost filtera,

- prisutnosti i pozicije papira za „pisak“ cigarete,
- oštećenja cigarete i ventilacije filtera cigarete.

Stoga, obavezna je stalna kontrola funkcionalnosti, tj. djelotvornosti opreme, jer o tome ovisi kvalitet i tehnička izrada cigareta, te ekonomičnost proizvodnje.

Iz tog razloga, savremene mašine za izradu cigareta imaju ugrađene precizne protočne vase, kojima se kontrolira masa cigarete, kako bi se moglo intervenirati ukoliko dođe do odstupanja od zadatih parametara. Također, postoji i uređaj za mjerjenje dijametra cigarete.

Za dobar kvalitet pakovanja cigareta postoji više elemenata, a to su:

- kutija mora imati određenu i standardnu veličinu, pravilan oblik i biti dobro oformljena,
- broj cigareta mora biti absolutno tačan prema vrsti pakovanja, s ispravnim cigaretama,
- kutija treba posjedovati ravne površine, ispravno spojene stranice, čiste od boje, ljepila ili drugih nečistoća,
- unutrašnje i dopunsko pakovanje treba biti ispravno postavljeno,
- vanjsko pakovanje, celofan i traka za otvaranje (cep-traka), također moraju biti pravilno postavljeni i zategnuti,
- kutije moraju biti zaštićene od vanjskih oštećenja.

## 6. DIM CIGARETE

*U*nutar cigarete koja gori, duhanska mješavina je izložena temperaturama od ambijentalne do  $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ , u prisustvu male i promjenljive količine kiseonika. Iz tih razloga, materijal nepotpuno sagorijeva i formira se koncentrovani aerosol.

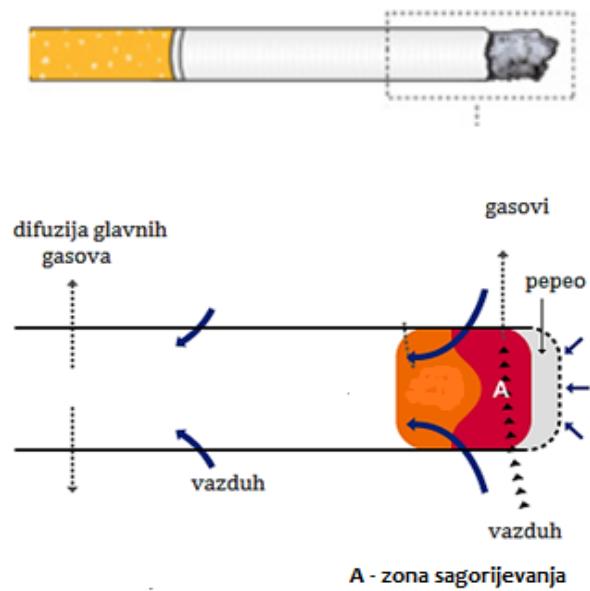
### 6.1. PROCES SAGORIJEVANJA (PUŠENJA) CIGARETE

*N*proces sagorijevanja cigarete i rezultirajući hemijski sastav dima značajno utiču parametri dizajna cigarete i korišteni uslovi pušenja (bilo da je riječ o čovjeku/pušaču ili posredovanom mašinskom pušenju).

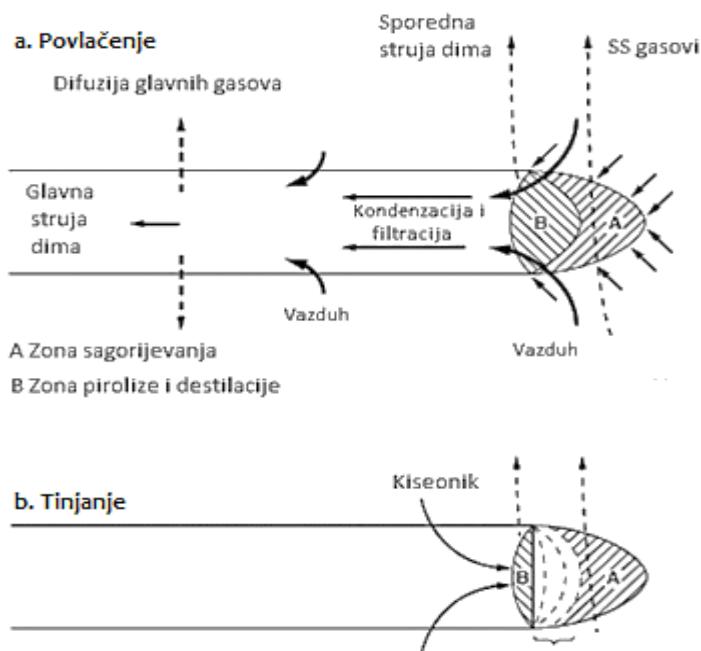
Kada se cigareta upali, tj. kada prvi milimetar cigaretног štapićа sagorijeva u prisustvu vazduha, temperatura duhana brzo se povećava, počinje karboksilacija, a na kraju zapaljene cigarete formira se zona sagorijevanja (Slika 9) čiju površinu brzo prekriva tanak sloj pepela.

U toku procesa sagorijevanja, odnosno nepotpunog sagorijevanja biomase u reaktoru, odvijaju se dva različita tipa gorenja (Slika 10) cigarete:

- gorenje u toku uvlačenja dima (*povlačenje*) i
- prirodno gorenje koje se događa u intervalu između dva uvlačenja dima, tzv. *tinjanje*.



**Slika 9.** Zona sagorijevanja kod upaljene cigarete



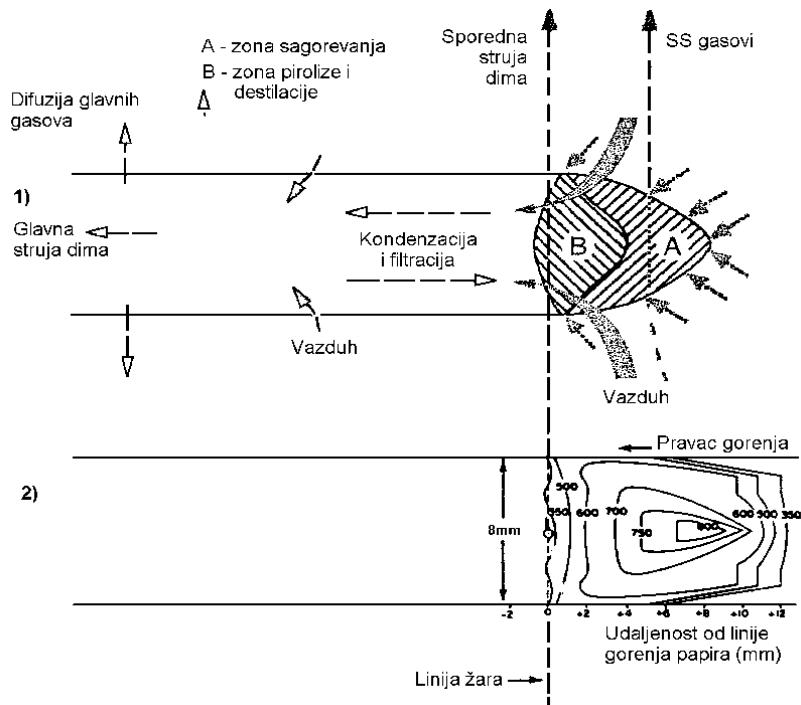
**Slika 10.** Proces sagorijevanja cigarete tokom povlačenja i tinjanja

Dakle, sam početak sagorijevanja cigarete odvija se u prisustvu kiseonika iz vazduha, pa su reakcije uglavnom egzotermne, uz formiranje gasova. U momentu povlačenja (tokom  $2\text{ s povlačenja}$ ), povlači se i vazduh, što uzrokuje nagli rast temperature u zoni sagorijevanja, od  $850$  do  $900^{\circ}\text{C}$ . Međutim, zona sagorijevanja vrlo brzo se prekriva tankim slojem pepela, koji sprječava kiseonik iz vazduha da nesmetano prolazi kroz cigaretni štapić, te se temperatura smanjuje u skladu sa smanjenjem protoka zraka. Temperatura žara nastavlja i dalje da pada, i oko  $15\text{ s}$  nakon završenog povlačenja dima, ona dostiže temperaturu oko  $600\text{-}700^{\circ}\text{C}$  i približno je stabilna do slijedećeg povlačenja (Slika 11). Ispred linije gorenja papira ( $0,2$  do  $1\text{ mm}$ ), temperatura duhana značajno pada, a tokom pušenja temperatura većeg dijela duhanskog svitka je približna temperaturi okoline.

Visoka temperatura unutar zone sagorijevanja, tokom procesa povlačenja dima, uzrokuje rast viskoziteta vazduha i brzinu gasova, pa je gustina u ovom dijelu zone visoka. Pad pritiska kroz zonu sagorijevanja se povećava, tako da je maksimalan pri njenoj osnovi. Zato, vazduh na tom uskom pojusu, blizu linije gorenja papira, teži da prodre u cigaretu. Strujanje zraka rezultira formiranje zone koja je iscrpljena sa kiseonikom, ali je još uvijek dovoljno topla za promovisanje termičkog raspada duhana. Iz ove zone emitira se velika količina isparljivih i polu-isparljivih sastojaka dima, koji su djelimično proizašli termičkom razgradnjom, a dijelom i destilacijom isparljivih sastojaka duhana; stoga se ovo područje naziva zona pirolize/destilacije (Slika 11). Cigaretni dim iz zone žarenja povlači se kao visokokoncentrovani vreo gas, koji se brzo hlađi i pri temperaturi od  $300^{\circ}\text{C}$  kondenzuje u aerosol. Na taj način formira se (Slika 11) glavna struja dima (Main stream-MS)

Za vrijeme povlačenja, dim koji prolazi kroz cigaretni štapić, podvrgnut je filtraciji preostalog dijela duhanskog štapića i cigaret filtera. Tokom prolaska kroz duhanski štapić, zbog koagulacije i kondenzacije (Slika 11), manjim česticama dima povećava se prečnik. Veće čestice imaju dovoljnu inerciju da bi izbjegle sudar sa drugim česticama, ipak se djelimično uklanjuju implikacijom na duhan i površinu filtera.

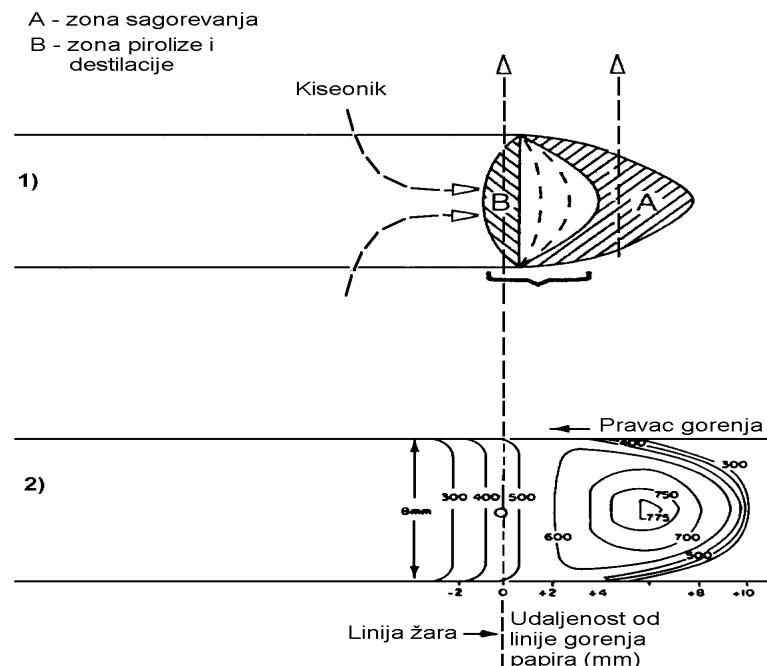
Temperature gasova koji su formirani u ovoj istoj oblasti su nešto niže i kreću se od  $600^{\circ}\text{C}$  do  $770^{\circ}\text{C}$  (Slika 11). Kretanje čestica dima pri povlačenju je uslovljeno razlikom pritisaka na krajevima cigarete, a brzina kretanja čestica je 35 mm/s.



**Slika 11.** Šematski prikaz profila gorenja pri povlačenju  
(Nikolić, 2004)

U periodu kada nema povlačenja, zona žarenja je veoma mala i cigareta tinja. Temperatura čvrste faze na periferiji zone sagorijevanja opada sa  $950^{\circ}\text{C}$  na  $600^{\circ}\text{C}$ , zbog smanjenog dotoka kiseonika i zračenja toplote u okolinu. Osnovni izvor topline tokom procesa tinjanja je samo središte žara. Kretanje čestica gasa pri tinjanju je uslovljeno termičkom difuzijom i znatno je sporije. Vazduh ulazi kroz pore cigaret – papira i kreće se prema zoni smanjenog pritiska u osnovi zone sagorijevanja. Tu se, uslijed više

temperature, vazduh zagrijava i kreće naviše, zajedno sa dimom sporedne struje (Side stream - SS). Na Slici 12 prikazano je kretanje gasova i distribucija temperatura unutar zone sagorijevanja tokom procesa tinjanja cigarete.



**Slika 12.** Šematski prikaz profila gorenja pri tinjanju (Nikolić, 2004)

U zavisnosti od načina sagorijevanja (povlačenje ili tinjanje), preostale nesagorjele dužine cigarete (opuška) i čitavog niza drugih faktora, različita je količina sagorjelog materijala, kao i količina nastalog dima.

#### 6. 1. 1. Brzina sagorijevanja cigarete (SBR)

Dakle, pušenje cigarete odvija se u ciklusima *povlačenje – tinjanje, povlačenje – tinjanje...*, a režimi sagorijevanja su u svakom ciklusu drugačiji,

u zavisnosti od dužine opuška. Radi lakšeg praćenja sagorijevanja cigarete sve promjene se posmatraju u okviru pojedinačnog ciklusa, a stanje u okviru jednog ciklusa smatra se konstantnim. Fizička sposobnost materijala (duhana) u cigaretama da sagorijeva, izražava se preko prosječne brzine sagorijevanja<sup>14</sup> obračunate za sve cikluse i to u dva vida:

- kao *linearna brzina sagorijevanja* ( $SBR_l$  u mm/min) – koja predstavlja prosječnu izgorjelu dužinu cigarete u jedinici vremena, i
- kao *masena brzina sagorijevanja* ( $SBR_m$  u mg/min) – koja predstavlja prosječnu izgorjelu masu cigarete u jedinici vremena.

Sa povećanjem denziteta duhana, usporava se brzina gorenja. Na primjer: sa povećanjem denziteta od 0,22 na 0,36 g/cm<sup>3</sup> linearna brzina gorenja ( $SBR_l$ ) opada sa 6,7 na 4,2 mm/min. Uglavnom je kontrolisana cigaret-papirom, tj. njegovom propustljivosti i količinom dodatih aditiva, koji poboljšavaju brzinu gorenja papira. Filter ventilacija takođe doprinosi kontroli brzine sagorijevanja cigarete.

Brzina sagorijevanja duhana takođe varira u ovisnosti o njegovim konstituentima (veća koncentracija kalija povećava brzinu sagorijevanja, dok povećan sadržaj hlorova doprinosi smanjenju brzine sagorijevanja duhana). Brzina sagorijevanja duhana uslovljena je i brzinom doticanja vazduha do površine duhana. S obzirom da temperatura i brzina sagorijevanja duhana imaju veliki utjecaj na formiranje dima, svaka promjena u uslovima sagorijevanja, odrazit će se i na brzinu sagorijevanja, a ona sama direktno utiče na broj povlačenja po cigaretama i svojstva dima.

---

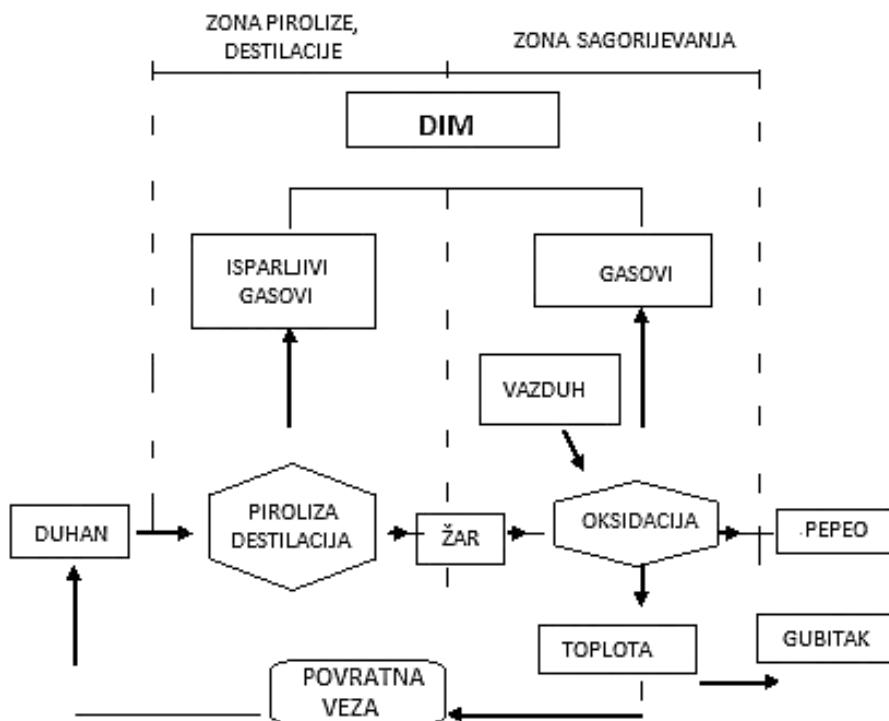
<sup>14</sup>SBR-eng.static burning rate; riječ static ne označava stacionarno stanje, već prosjek stanja po ciklusima, SBR se može smatrati stacionarnom sam za proces tinjanja u pojedinačnom povlačenju

## 7. MEHANIZMI FORMIRANJA DUHANSKOG DIMA

Duhanski dim formira se tokom nepotpunog sagorijevanja duhanske mješavine (koja čini oko 93% punjenja), materijala inkorporiranih u cigaretu (aditivi, ekspandovani nerv, rekonstituisani duhan) i cigaret-papira.

U suštini, unutar cigarete koja sagorijeva, istovremeno se odvijaju različiti fizički i hemijski procesi. Fizički procesi koji se odigravaju tokom procesa sagorijevanja (*povlačenja i tinjanja*) mogu se racionalizirati u dva glavna mehanička regionala – region pirolize/destilacije i region sagorijevanja. Na Slici 13 prikazana je veza između procesa sagorijevanja i formiranja dima.

Piroliza podrazumijeva hemijsku razgradnju supstanci (sagorijevanje ili termički raspad), u prisustvu nedovoljne količine kiseonika. Približno 30% organske supstance sagori, dajući kao produkte ugljen monoksid (CO), ugljen dioksid ( $\text{CO}_2$ ) i vodu u obliku pare, uz oslobođanje toplote. Jedan dio te toplote emituje se u okolinu, dok ostatak biva utrošen na podržavanje reakcija termičkog raspada, pirosinteze i pirodestilacije. S obzirom, da se pomenuti procesi odvijaju na žaru i neposredno iza linije žara, cijela zona naziva se zona žarenja ili egzotermna zona (A na Slici 10 i 11). U ovoj oblasti temperature se kreću između  $750^\circ\text{C}$  i  $900^\circ\text{C}$ , a brzina zagrijavanja dostiže i do  $500^\circ\text{C}$  po sekundi. Većina neisparljivih supstanci, kao što su šećeri, polisaharidi (celuloza, skrob, pektin), polifenoli (lignin) i proteini, pirolitički se razgrađuju pri čemu nastaje veliki broj produkata (piridini, aromatski amini, furani, fenoli) koji mogu biti relativno stabilne molekulske strukture ili u formi slobodnih radikala. Da bi postigli stabilno stanje radikali veoma brzo stupaju u reakcije pirosinteze, pri čemu nastaje veliki broj jedinjenja.



**Slika 13.** Povezanost glavnih procesa sagorijevanja cigarete na formiranje dima (Muramatsu, 1981.)

Pirosinteza podrazumijeva različite reakcije sinteza po mehanizmu reakcija slobodnih radikala, pri čemu nastaje veliki broj jedinjenja koja nisu ni postojala u materijalu koji sagorijeva. Odigrava se neposredno iza zone gorenja, u zoni tinjanja. To je zona u kojoj su temperature nešto niže i kreću se u prosjeku od  $200^{\circ}\text{C}$  do  $600^{\circ}\text{C}$ , sa brzinom zagrijavanja od približno  $100^{\circ}\text{C}$  po sekundi. Atmosfera u ovoj zoni je skoro potpuno redukovana, sa visokom koncentracijom  $\text{H}^+$  jona i neznatnim prisustvom kiseonika. Tu se formira većina komponenata dima, mehanizmima koji uključuju destilaciju, sublimaciju, termičku razgradnju, kao i druge pirolitičke proceze.

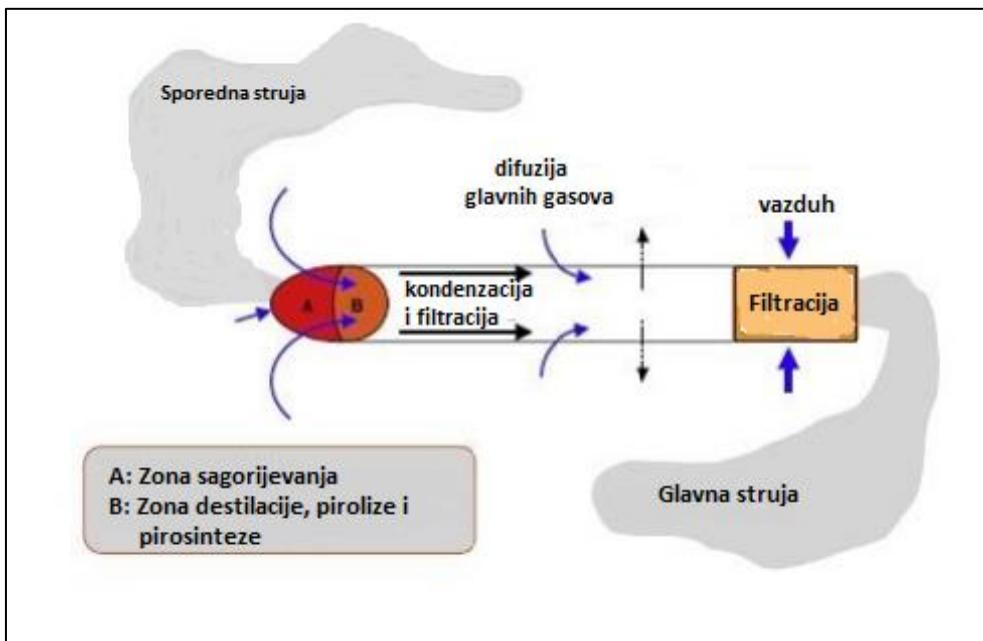
Pirodestilacija podrazumijeva specifičnu sublimaciju lako isparljivih komponenti duhana u gasnu fazu i njihovu destilaciju u koloni duhanskog

svitka. Oko jedne trećine komponenti dima formira se direktnim prelazom - sublimacijom ili erupcijom. Direktan prelaz ovisi od stepena isparljivosti, prisustva funkcionalnih grupa i termičke stabilnosti date komponente. Neočekivano, čak i neke visokomolekularne i slaboisparljive supstance (neorganske soli, metali, steroli, ugljeni hidrati i pigmenti) mogu direktno preći u dim. Pretpostavlja se da zbog toplotnog udara može da dođe do neke vrste ćelijske erupcije i da ove supstance budu izbačene u struju dima prije nego što podlegnu termičkoj razgradnji. Na ovaj način, vjerovatno nastaju i mala jezgra na kojima se kasnije kondenzuju isparljive supstance formirajući aerosol.

Rezultat sva tri procesa (piroliza, pirosinteza i pirodestilacija) je dim koji se iz cigarete može osloboditi na jedan od tri načina: kao glavna struja, sporedna struja i ambijentalni dim (Slika 14).

Glavna struja dima se formira u periodu povlačenja i prolazi cio konus cigarete prema ustima pušača. Glavna struja dima je koncentrisana i ograničena neko vrijeme (nekoliko sekundi) na vlažnu sredinu usta, grla i pluća i sadrži relativno krupne čestice. Sadrži sve proekte procesa pirolize, pirosinteze i pirodestilacije i djelimično izmijenjen sastav vazduha.

Sporedna struja dima nastala u periodu tinjanja, izlazi neposredno iz zone žarenja i sa površine cigarete u atmosferu. Veća količina sporedne struje dima formira se kada se povećava količina sagorjelog duhana tokom procesa tinjanja u odnosu na sagorjelu količinu duhana za vrijeme povlačenja dima. Ova struja dima je sa povećanim procentom gasne faze, zbog otežanog prelaska krupnijih molekula i čestica.



**Slika 14.** Formiranje glavne i sporedne struje dima tokom sagorijevanja cigarete

Ambijentalni dim ili duhanski dim u okolini (Environmental tobacco smoke – ETS) se formira od sporedne struje dima i takozvanog povratnog dima, koji pušač izbací nakon inhaliranja. Za razliku od glavne struje dima, ETS stari tokom vremena i podliježe hemijskim i fizičkim transformacijama, koje su posljedica dehidratacije, oksidacije, fotohemijskih reakcija, ionizacije i drugih interakcija sa česticama sredine, tako da je preko 100.000 puta razblaženiji. Na fizička i hemijska svojstva ETS-a utiču različiti faktori u zavisnosti od toga da li se formira u otvorenom ili zatvorenom prostoru. Koncentracija komponenata ETS-a je veća u zatvorenom prostoru.

## 7. 1. FIZIČKE KARAKTERISTIKE DIMA

*K*veliki broj radova odnosi se na ispitivanja veličine čestica duhanskog dima. Kako ne postoji siguran metod za mjerjenje veličine čestica ili njihove koncentracije u dimu, dok on prolazi kroz cigaretu, postoji samo aproksimacija onoga što se formira, na osnovu utvrđenog stanja dima nekoliko minuta, ili čak i nekoliko sati po formiraju (čestica je nepromijenjena samo 0,2 sek).

Prečnik čestica dima konstantno se mijenja. Komponente koje destiluju (sublimuju) su obično manjih prečnika. Samo u slučaju visoke koncentracije lako isparljivih komponenti, dolazi do stvaranja njihovih većih koagulata.

Producija dima, uglavnom, niža je u prvima u odnosu na kasnija povlačenja, zbog vremena potrebnog za formiranje žara i efikasnije filtracije dima kroz duhanski štapić, iako postoje izuzeci. Uglavnom, veća producija je u zadnjim povlačenjima zbog kraćeg filtracionog puta kroz koji dim prolazi i redestilacije filtriranog dima u ranijim povlačenjima.

Glavna struja dima sadrži  $10^8 - 10^{10}$  čestica po  $\text{cm}^3$ , prosječne brzine 35-50 cm/sek. Veličina čestica svježe nastalog cigaretног dima kreće se između 0,1 - 1,0  $\mu\text{m}$  prečniku, s tim da se najčešće javljaju čestice veličine 0,20 - 0,25  $\mu\text{m}$ . Čestice dima manje od 0,1  $\mu\text{m}$  koaguliraju sa drugim česticama što smanjuje njihovu koncentraciju, ali povećava prečnik čestica.

Sporedna struja (SS) dima ima manji broj čestica 1 do  $6 \times 10^9$ , prosječnog prečnika oko 0,11  $\mu\text{m}$ . Brzina čestica SS je oko 2 puta veća od brzine čestica MS. U inicijalnoj fazi iznosi oko 60 mm/s, a sa udaljenošću od zone sagorijevanja se povećava. Na udaljenosti od 70 mm iznosi 600 mm/s. U SS takođe dolazi do koagulacije i uvećanja prečnika čestica, što je uglavnom posljedica apsorpcije vodene pare. Dokazano je, da sa povećanjem relativne vlažnosti vazduha veličina čestica naglo raste. Dakle, tokom kretanja kroz cigaretu dim stari i biva izložen termičkim i mehaničkim utjecajima, a odvijaju se i neke hemijske reakcije, tako da se sastav i glavne i sporedne struje dima stalno mijenja.

## 7. 2. HEMIJSKI SASTAV CIGARETNOG DIMA

*K*ritičan izazov, u proučavanju bilo kakvog efekta pušenja cigareta, oduvijek je bio da identificuje i kvantificuje prisutne hemijske sastojke u dimu. Ukupan broj različitih hemijskih jedinjenja prisutnih u dimu cigareta je nepoznat. Na osnovu istraživanja, provedenih u proteklih 60 godina, duhanski dim, koji se emituje iz zapaljene cigarete, kompleksna je i dinamična mješavina više od 6000 hemikalija, od kojih su približno 150 identifikovane kao toksične supstance.

Primjenom novih analitičkih tehnika i savremenije opreme, broj identifikovanih sastojaka dima stalno raste. Međutim, iskustvo do danas pokazalo je da razumijevanje hemijskog sastava cigaretog dima ne može se postići bez razmatranja slijedećih faktora:

- Metoda za generisanje dima;
- Izbora režima pušenja;
- Pristupa koji se koriste za sakupljanje dima;
- Reaktivnost dima

### 7. 2. 1. Generisanje dima

*P*očetak ispitivanja hemijskog sastava dima vezuje se za 1977. godinu u Sjedinjenim Američkim državama (SAD), kada su osnovane prve laboratorije za testiranje cigareta. Laboratorije u duhanskoj industriji i specijalizirane laboratorije razvile su analitičke procedure za ponovljiva i reproducibilna ispitivanja hemijskog sastava nastalog dima [ISO (*International Organization for Standardization*) 3308 – Rutinska analitička mašina za pušenje – Definicije i normirani uslovi; ISO 3402 – Duhan i proizvodi od duhana – Atmosfera za kondicioniranje i testiranje; ISO 4387 Cigaretе – Određivanje ukupnog i suhog dimnog kondenzata bez nikotina,

korištenjem rutinske analitičke mašine za pušenje i ISO 4387/A1 Cigarete – Određivanje ukupnog i suhog dimnog kondenzata bez nikotina, korištenjem rutinske analitičke mašine za pušenje; Amandman A1].

Osnova za proučavanje cigaretног dima je upotreba sistema za proizvodnju dima, koji reprodukuju osnovne pojave koje se javljaju tokom pušenja cigareta od strane ljudi, tj. pulsirajuću prirodu pušenja sa kratkotrajnim, naizmjeničnim visokim temperaturama u povlaчењу i dužim, nižim temperaturama u procesu tinjanja cigarete. Ovi različiti termički događaji, imaju važne implikacije na prinos i relativni hemijski sastav dima, jer razni sastojci dima imaju veoma različite stope i temperature formiranja. Istraživači, nekad koriste sisteme kao što je vakuum pumpa, na koju postavljaju zapaljenu cigaretu za proizvodnju uzoraka dima. Međutim, ovakav pristup previše pojednostavljuje proces formiranja dima (nema reprodukcije termalnih događaja tokom pušenja cigarete).

#### 7. 2. 2. Režimi pušenja

*O*nove za proučavanje utjecaja dizajna i fizičko-hemijskih karakteristika cigarete na svojstva nastalog dima, izvedene su na osnovu podataka dobijenih pušenjem cigareta na posebnim mašinama – „vještačkim pušačima“, koji reproduciraju osnovne fenomene koji se javljaju u pušenju cigareta od strane ljudi. Metod i uslovi mašinskog pušenja razvijeni su i usavršavani 15-ak godina, tako da je pored ISO standarda formiran i FTC (Federal Trade Commission) standard, koji je u širokoj primjeni u ostalom dijelu svijeta. Razlike u uslovima pušenja (Tabela 8) među ovim standardima su minimalne.

**Tabela 8.** Uslovi za standardno mašinsko pušenje prema ISO i FTC standardima

<i>Parametri pušenja</i>	<i>ISO</i>	<i>FTC</i>
<i>Temperatura kondicioniranja</i>	$22 \pm 1^{\circ}\text{C}$	$24 \pm 1^{\circ}\text{C}$
<i>Relativna vlažnost vazduha</i>	$60 \pm 2\%$	$60 \pm 2\%$
<i>Zapremina povlačenja (ml)</i>	35	35
<i>Trajanje povlačenja (s)</i>	2	2
<i>Učestalost povlačenja (pov/s)</i>	1/60	1/60
<i>Dužina ostatka cigarete (neizgorenji dio)</i>	23 mm (ne manje od 8 mm od dužine filtera)	23 mm (ne manje od 3 mm od dužine korka)

Međutim, treba napomenuti da, pri individualnom konzumirajući pušač sam „određuje“ uslove pušenja i oni se značajno razlikuju, kako od pušača do pušača, tako i od cigarete do cigarete, kod iste osobe. Količina dima koju pušač „uvuče“ zavisi, upravo, od zapremine povlačenja i intervala u pušenju, dok količina dima koju pušač „usvoji“ ovisi o dubini i dužini inhalacije, kao i od gubitka dima sa krajeva usana.

Zbog toga su predloženi i noviji režimi, koji se opisuju kao „intenzivni“ režimi pušenja, i imaju veću zapremenu povlačenja, češću učestalost povlačenja i djelimično ili kompletno blokiranje ventilacionih otvora u filteru za cigarete (Tabela 9).

Od predloženih režima pušenja, Kanadska „intenzivna“ metoda postala je fokus nedavne pažnje, i predstavlja pojavu globalnoga standarda. Međutim, dosadašnja razumijevanja mehanizama formiranja dima

razvijena su iz eksperimenata koji su sprovedeni pod uslovima za ISO 4387. Intenzivniji režimi pušenja mijenjaju istoriju termičkog gorenja cigarete, što dovodi do relativnog povećanja ili smanjenja hemijskog sastava dima, kojeg je teško tumačiti na osnovu trenutnog razumijevanja procesa sagorijevanja cigarete. Shodno tome, mnogi od uspostavljenih principa sagorijevanja duhana i hemije dima možda će se trebati ponovo procijeniti u skladu sa ovim revidiranim parametrima pušenja.

**Tabela 9.** Režimi mašinskog pušenja cigareta, predloženi od strane različitih regulatornih organa (Borgerding and Klus, 2005)

Parametri pušenja	Masačusets metoda	Kanadska „intenzivna“ metoda
Zapremina povlačenja (cm <sup>3</sup> )	45	55
Učestalost povlačenja (pov/s)	30	30
Trajanje povlačenja (s)	2	2
Blokiranje ventilacije (%)	50	100

## 7. 2. 3. Tehnike za sakupljanje dima

Putinske analize sastojaka cigarettnog dima orijentisane su na „hvatanje“ i sakupljanje dima iz više cigareta, kako bi se dobilo dovoljno materijala za kvantifikaciju uz minimiziranje varijabilnosti. Komponente dima pri sakupljanju mogu biti u čestičnoj fazi (PM), gasnoj fazi (VF) i kao tzv. poluisparljive komponente (SVF).

Gasna (parna) faza dima (Volatile fraction-VF) predstavlja onaj dio dimnog aerosola koji prolazi kroz kembridž filter, a sakuplja se u plastičnu vrećicu na mašini za pušenje. Sadrži komponente dima čija je tačka ključanja ispod temperature predgrijavanja duhana, odnosno ispod 100°C do 150°C.

Poluisparljive komponente (Semi-volatile fraction-SVF) označavaju sve one komponente koje ovaj filter zadržava na sobnoj temperaturi, ali one sa njega mogu ispariti u uslovima povišene temperature (100-200°C) bez znatnije razgradnje. Prema tome, poluisparljiva frakcija dima nije precizno definisana i neznatno se razlikuje od autora do autora. Uglavnom sadrži dimne komponente, koje imaju tačku ključanja od 70 – 300°C kao što su ugljikohidrati, naftaleni, ketoni, piridini, fenoli, furani itd.

Ukoliko se dim „hvata“ prema ISO/CORESTA metodu, komponente koje se u potpunosti talože na kembridž filteru (Cambridge filter)<sup>15</sup> označene su kao čestična faza dima ili ukupni dimni kondenzat (TPM)<sup>16</sup>, koji se naziva još i sirovi kondenzat. Ako se iz njega odstrane voda i nikotin, ostatak se označava kao TAR.

Efikasnost kembridž filtera u zadržavanju čestične faze dima uglavnom je veća od 99%. Međutim, ovisna je, kako od korištenih analitičkih tehnika, tako i od ekstrakcijskih otapala.

Iako je kembridž filter pogodan za hvatanje stabilnih komponenata, faktor koji treba imati na umu, pri proučavanju dima, je reaktivnost drugih sastojaka dima. Potencijalno, glavni problem je uvođenje artefakata<sup>17</sup>.

---

<sup>15</sup>Kembridž filter-gusti filter kružnog oblika, napravljen od staklenih vlakana koji zadržava kondenzat dima

<sup>16</sup>TPM – total particulate matter = ukupna čestična faza TPM = PM + VF

<sup>17</sup>artefakt – (rukotvorina) ljudskom rukom učinjen predmet

#### 7. 2. 4. Reaktivnost dima

Već neko vrijeme, poznato je da razdvajanje na čestičnu i gasnu fazu pomoću kembridž filtera može stvoriti artefakte tokom analize dima, kao postupak sprječavanja interakcija između sastojaka dima u ove dvije faze. Kod najčešće korištenih metoda za analizu dima, značajno vrijeme prođe između generisanja dima i njegove kvantifikacije. Starenje dima tokom perioda kad dim napušta filter i njegove naknadne analize, fenomen koji se odnosi na bilo koju promjenu u sastavu dima, također, izvor je artefakata. Ovo se posebno odnosi na visoko reaktivne vrste, kao što su slobodni radikali i nitrozo spojevi. U svježem dimu ima mnogo više čestica tipa radikala. Da bi postigli stabilno stanje, visoko reaktivni radikali veoma brzo stupaju u reakcije pirosinteze, pri čemu nastaje veliki broj jedinjenja koja nisu ni postojala u materijalu koji sagorijeva.

Ponašanje slobodnih radikala, kao i prisustvo različitih tranzicijskih metala (npr. Cu, Fe, As, Cd, Cr, Pb, Ni i Se) već dugo vremena povezuje se sa redoks potencijalom dima. Upravo redoks uslovi dima mogu imati utjecaj na potencijalnu toksičnost teških metala. Dovoljni dokazi postoje za kancerogenost hroma u oksidacijskom stanju +6 ( $\text{Cr}^{+6}$ ), dok  $\text{Cr}^{+3}$  nije klasificiran kao kancerogen za ljudi. Informacije o oksidacionom stanju metala u dimu i dalje su rijetke u literaturi, te je teška tačna procjena njihove toksičnosti. Dodatno, rutinske analize mjerjenja cigaretног dima u nekom realnom vremenu, naglasile su dinamičku i reaktivnu prirodu nekih sastojaka dima.

#### 7. 2. 5. Komponente cigaretног dima

Pостојање великог броја хемијских јединjenja, у дујанској диму, значајно је веће од броја супстанци присутних у материјалу који сагоријева. Многе од њих присутне су у екстремно малим количинама, јер материјал који

sagorijeva u cigaretii nije samo duhan, već su to i aditivi, specifične materije koje se dodaju radi postizanja određenih, željenih karakteristika dima.

Općenito, pod pojmom hemijski sastav duhanskog dima podrazumjева se sastav glavne struje dima, jer je to dio dima koju pušač konzumira. Nove studije ukazuju na to da je glavna struja dima mješavina „svježe“ proizведенog i „već postojećeg“ dima.

Dvije vrste dima ne razlikuju se samo u stepenu starenja, nego se, također, formiraju pri različitim uslovima sagorijevanja i pirolize, koji se javljaju tokom procesa povlačenja i tinjanja cigarete. Tokom procesa povlačenja sagorijeva veća količina duhana u odnosu na proces tinjanja cigarete. Međutim, to nije jedini faktor koji ima utjecaj na hemijski sastav glavne i sporedne struje dima, jer uslovi pod kojima se odvija proces sagorijevanja cigarete i formiranja glavne i sporedne struje dima su različiti. Sve ovo ukazuje na raznolikost prisutnih vrsta u dimu, njihovoj međusobnoj ovisnosti i različitim reaktivnostima. Posljedica toga je da jednoznačna identifikacija i tačna kvantifikacija pojedinačnih komponenata dima može biti značajan analitički izazov.

Prema istraživanjima mnogih autora, u principu, najveći broj komponenata više je zastupljen u sporednoj struji dima. Sporedna struja dima u odnosu na glavnu struju dima sadrži veću količinu PAH-ova, aromatskih amina, ugljen monoksida, nikotina, amonijaka, piridina i gasnih komponenata kao što su: akrolein, benzen, izopren,toluen i sl. Značajno veća količina amonijaka prisutna u sporednoj struji rezultira povećanjem alkalnosti dima. Sa povećanim intenzitetom povlačenja, ukupni, pa time i toksični omjer SS/MS se smanjuje.

U Tabeli 10 su predstavljene glavne, do sada, identifikovane komponente cigaretnog dima.

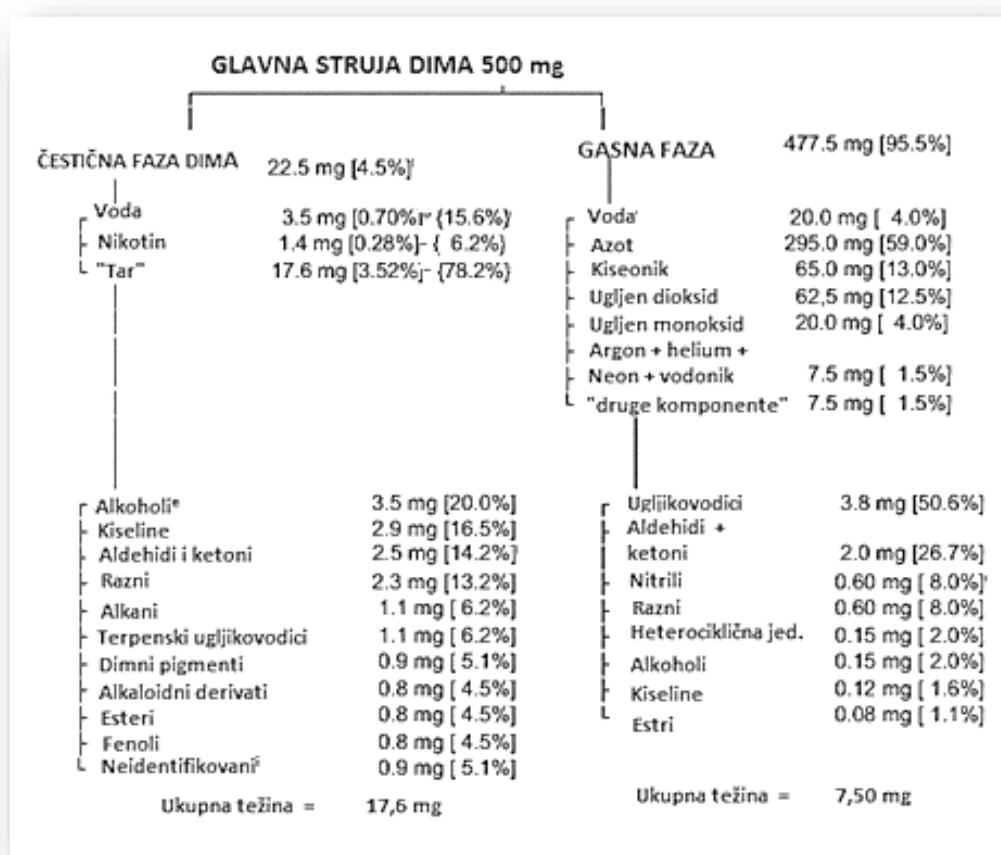
**Tabela 10.** Glavne klase hemijskih jedinjenja u cigaretnom dimu  
(Rodgman i Perfetti, 2008)

Klase hemijskih jedinjenja	
Ugljikovodici	Nitrili
Alkoholi i Fitosteroli	Aciklični amini
Karbonske kiseline	Amidi
Estri	N- Nitrozamini
Laktoni	Nitroalkani, Nitroareni, Nitrofenoli
Anhidridi	Azotne heterociklične komponente
Ugljikohidrati i njihovi derivati	Permanetni gasovi ( $N_2$ , $CO_2$ , CO i dr.)
Fenoli i Hinoni	Elementi metala, Izotopi, Ioni, Soli
Eteri	Nukleotidi, Slobodni radikali

Kvalitativni sadržaj dima, također, različit je uglavnom zbog primjene različitih tehnika pri sakupljanju dima i naknadnih reakcija koje se, zbog visoke reaktivnosti komponenti dima, odigravaju čak i u sakupljenom kondenzatu dima (TPM). Producija dima, općenito, je niža u prvim u odnosu na kasnija povlačenja dima, zbog vremena koje je potrebno za formiranje žara. U kasnijim povlačenjima, prinosi dima općenito su veći zbog skraćenog filtracionog puta kojim dim prolazi i redestilacije filtriranog dima u ranijim povlačenjima. Izuzetno velike varijacije u prinosu komponenti isporučenih u glavnu struju dima predstavljaju jedinstvene izazove onima koji su uključeni ne samo u njihovu identifikaciju, nego i njihovu kvantifikaciju. Značajne količine nekih komponenata dima nalaze se i u čestičnoj i u gasnoj fazi glavne struje (Slika 15) dima cigarete [npr. vodonikov cijanid, nekoliko jednostavnih fenola (fenol, o-krezol, m-krezol, p-krezol)] i nekoliko nestabilnih N-nitrozamina. Generalno, supstance molekulske mase ispod 60 zastupljene su u gasnoj fazi, dok su supstance

koje imaju molekulsu masu iznad 200 u čestičnoj fazi duhanskog dima. Približan hemijski sastav glavne struje dima (500 mg) blend cigarete (85 mm dužine), pušene pod standardnim uslovima na automatskoj mašini za pušenje, sa zapreminom uvlačenja od 35 ml, trajanjem uvlačenja 2 sekunde, pauzom između uvlačenja od 58 sekundi, do dužine opuška od 23 mm, predstavljen je procentualnim odnosima na Slici 15.

Očigledno je, iz podataka na Slici 15 da čestična faza zauzima manje od 5% ( $100 \times 22.5/500 = 4.5\%$ ) u ukupnoj količini glavne struje dima.



**Slika 15.** Približan hemijski sastav glavne struje dima blend cigarete  
(Perfetti i Rodgman, 2011)

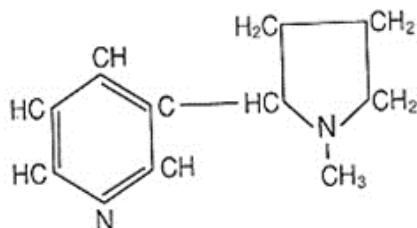
### 7. 2. 5. 1. Čestična faza glavne struje dima

Čestičnu fazu dima uglavnom čine supstance koje su već prisutne u listu i koje se mogu prenijeti u dim bez prethodnog razlaganja, kao što su: nikotin, smole, smolne kiseline, eterična ulja i tragovi alkohola. Čine je i supstance koje se stvaraju u zoni sagorijevanja, kao što su proizvodi razlaganja nikotina (miozin, piridilet-keton, piridin), alkoholi (metanol), aldehidi, ketoni, organske kiseline, fenoli, i mnogi drugi sastojci.

Iako čini svega 5% duhanskog dima, ona sadrži najveći broj komponenata dima, među kojima je većina nepoželjnih (nikotin, TAR).

#### Nikotin

Nikotin je dominantan alkaloid u duhanskom dimu (Slika 16). Ovaj alkaloid duhana od posebnog je značaja kao faktor kvaliteta lista i komponenta dima koja obezbeđuje fiziološki stimulans.

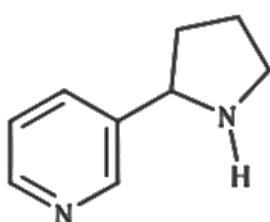


Slika 16. Struktorna formula nikotina

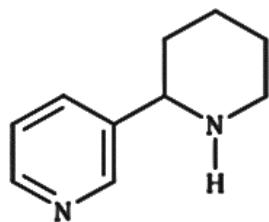
Ukoliko bi se proizvodile cigarete bez nikotina, izgubilo bi se osnovno fiziološko svojstvo dima tj. efekat zbog kojeg pušači i konzumiraju duhan. Prisutan u dimu, on kod pušača izaziva osjećaj iritacije i otpora u grlu i plućima, kao i osjećaj ošamućenosti, sitosti i stimulacije. Upravo zbog njegovog stimulativnog djelovanja na nervni sistem čovjeka, duhan se upotrebljava kao sredstvo za uživanje.

Ljudski mozak reagira na nikotin već 7 sekundi nakon njegovog ulaska u pluća, tako da u prvo vrijeme djeluje stimulativno. Međutim, kasnije blokira ganglijske ćelije, što dovodi i do stimulacije i do depresije. Letalna doza nikotina za čovjeka iznosi 50 mg (333 cigarete), ali i znatno manje količine mogu izazvati niz posljedica: suženje krvnih sudova, povećanje krvnog pritiska, ubrzan rad srca, poremećaj vida. Ukoliko se konzumira u većim količinama, može nastati i hronično trovanje nikotinom.

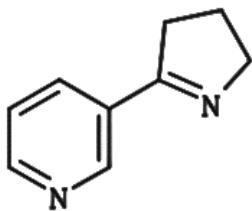
Pored nikotina, u dimu cigarete zastupljeni su i drugi sekundarni alkaloidi: nornikotin, anabazin, miozamin i anatabin (Slika 17), čija koncentracija ne prelazi 5% od ukupne količine nikotina.



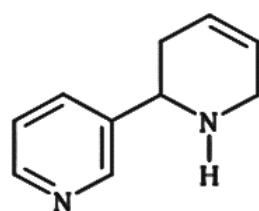
Nornikotin



Anabazin



Miozamin



Anatabin

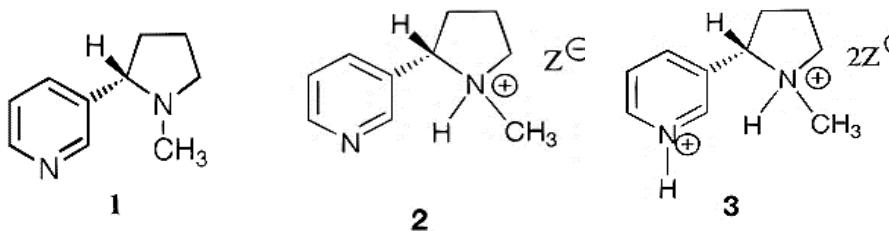
**Slika 17.** Strukturne formule nekih sekundarnih duhanskih alkaloida

Kao većina drugih alkaloida, nikotin  $\beta$ -(1-metil-2-pirolidin) piridin je heterociklični amin, u kome N-H veze osiguravaju polarnost molekule, odnosno postojanje hidrogenovih veza. Čisti nikotin je higroskopna bistra

tečnost, tačke ključanja 247 °C, relativne molekulske mase 162,24. Sa vodom se miješa u svakoj razmjeri ispod 60 °C i iznad 208 °C, a između ove dvije temperature uzajamna rastvorljivost je ograničena. Hemijska formula nikotina je C<sub>10</sub>H<sub>14</sub>N<sub>2</sub>. Vodenim rastvorom nikotina pokazuje jako baznu reakciju, stoga je on jaka organska baza.

Hipotetički, ova dobro poznata i značajno proučavana supstanca, u sastavu cigaretnе mješavine, može egzistirati (Slika 18) u jednoj ili više od tri forme/oblika:

1. neprotonizirani nikotin
2. monoprotonizirani nikotin, i
3. diprotonizirani nikotin

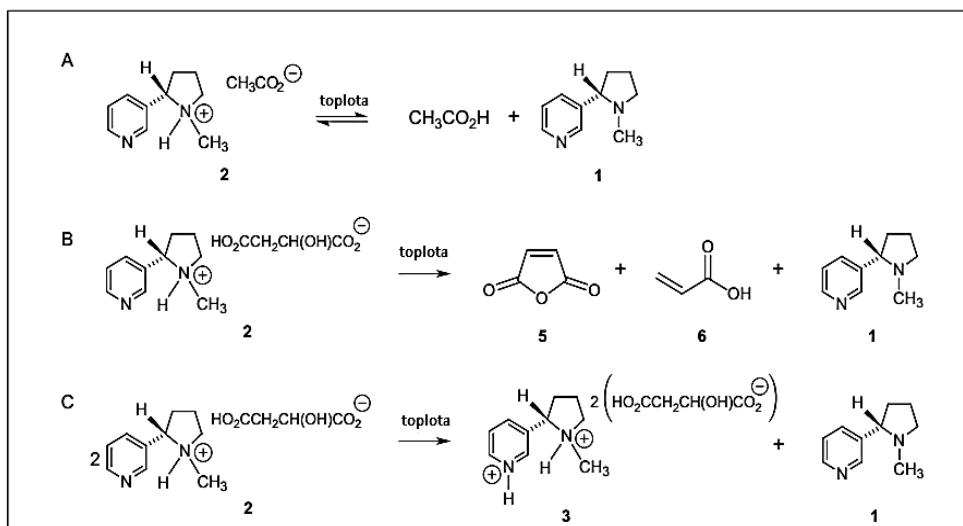


Slika 18. Tri forme nikotina

Koncentracija nikotina u blendu današnje moderne cigarete varira od 2,07 – 2,69%. Od ukupne količine prisutne u duhanu, s obzirom na relativno nisku tačku ključanja i izuzetnu rastvorljivost, nikotin u dim prelazi uglavnom destilacijom/nerazloženo (u glavnu i sporednu struju dima i opušak). Od tri forme nikotina (1-3) jedino neprotonizirani (1) nikotin je isparljiv i sposoban da ulazi u gasnu fazu dima. Naučna literatura i duhanska industrija često nikotin u ovoj formi označavaju kao „slobodni nikotin“ i „slobodni bazni nikotin“.

Kao što je prikazano na slici 19. u predgrijanom dijelu cigarete, nikotinske soli karboksilnih kiselina mogu u suštini formirati neprotoniziranu formu nikotina na tri načina:

- 1) Na visokim temperaturama dešava se jednostavna kiselo-bazna disocijacija. To je najrašireniji mehanizam formiranja neprotonizirane forme nikotina iz soli nikotinskih monokarboksilnih kiselina, kao što je sirćetna kiselina.
- 2) Dekompozicijom organskih kiselina.
- 3) Reakcijama disproportcijacije.



**Slika 19.** Tri termički inducirana reakcijska puta koja dovode do isparavanja nikotina: (A) kiselo-bazna disocijacija; (B) disocijacija kiseline; i (C) disproportcijacija (Jeffrey, 2005)

Ono što se danas smatra tačnim za prelaz nikotina u dim je slijedeće. Prvo, kad se cigareta zapali, duhan se užari dostižući veoma visoke temperature od 700 do 900°C. U predgrijanom dijelu cigarete nikotin, koji je u formi nikotinskih soli, konvertuje se u gasnu fazu, jonizovani nikotin ili sagorijeva. Kako jonizovani nikotin, na tim temperaturama, ne može da opstane u gasovitom stanju, dolazi do dekompozicije nikotinskih soli. Gotovo

istovremeno gasni produkt počinje da kondenuje i formira čestice aerosola. Najveći dio nejonizovanog nikotina hemijski reaguje formirajući nove soli. Intenzitet ovih reakcija zavisi od sadržaja organskih kiselina u duhanu i dimu, ali uglavnom se sav nejonizovani nikotin poveže, tako da ga u ovoj formi u dimu ima veoma malo. Dio nikotina koji podliježe pirolizi daje pretežno piridinske produkte (npr. acetil-piridin) koji su odgovorni, kako za tipičnu aromu duhanskog dima, tako i za neprijatne i specifične mirise koji ostaju nakon pušenja.

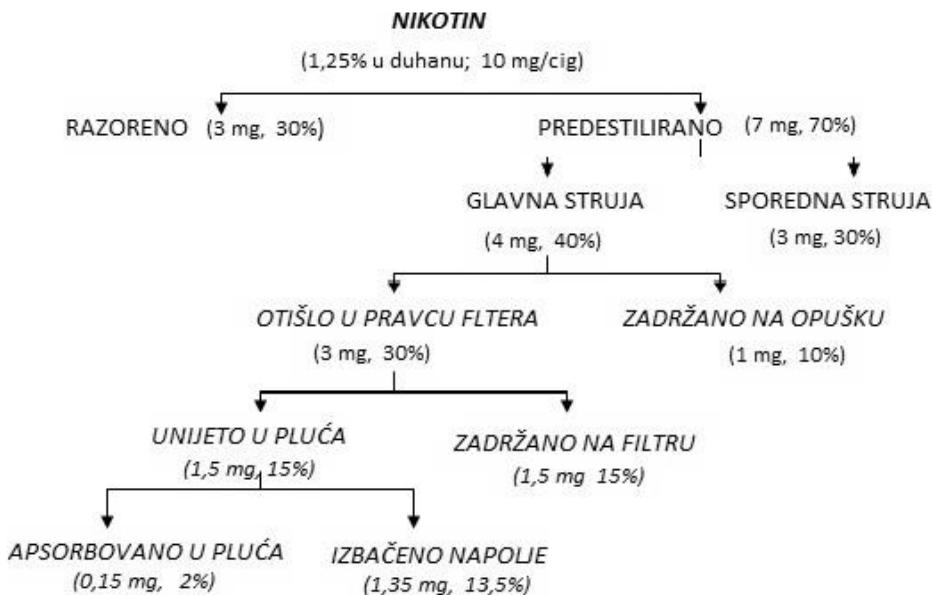
Koliko će nikotina preći u dim, ovisi i o tome ostaje li kraći ili duži opušak. Kod dužeg opuška manje nikotina prelazi u dim jer se pri suhoj destilaciji u zoni gorenja nikotin zadržava u hladnjem dijelu cigarete. Prelaz nikotina u dim zavisi i od vlažnosti duhana. Registrovane su promjene sadržaja nikotina u dimu od 1,04 mg/cig, pri sadržaju vlage 11,97%, do 0,7 mg/cig, pri vlažnosti cigarete od 12,76%. Sa aspekta sadržaja nikotina u dimu, optimalan sadržaj vlage u cigareti je oko 12%. Brzina sagorijevanja duhana (Tabela 11), također ima utjecaj na prelaz nikotina u dim. Ukoliko je sagorijevanje brže, u dim prelazi veća količina nikotina. Također, sa većom ukupnom količinom nikotina u duhanu relativno više nikotina prelazi u dim.

Manji dio nikotina, u procesu sagorijevanja konvertuje se u druge supstance (pirolizom ili oksidativnim reakcijama).

**Tabela 11.** Zavisnost prelaska nikotina u dim od brzine sagorijevanja  
(Tomić i Demin, 1977.)

Duhanski proizvod	Prelaz u dim (%)			
	Sadržaj nikotina (%)	Lagano sagorijevanje	Obično sagorijevanje	Brzo sagorijevanje
Cigare	0.86	0.00	0.28	0.44
Cigare	1,07	0.07	0.50	0.83
Cigarette	1.19	0.00	0.34	0.47

Većina istraživača slaže se da ljudi „usvajaju“ značajno manju količinu nikotina od količine koja se nalazi u datoј zapremini uvučenog dima. Uz pretpostavku da u duhanu jedne cigarete ima 10 mg nikotina, vrlo mali dio dospijeva u pluća pušača, i to oko 1,5 mg, a u njima se apsorbuje svega 0,15 ml (Slika 20).



**Slika 20.** Apsorbovana količina nikotina tokom pušenja

Zadržavanjem dima u ustima pušača, usvajanje nikotina je još manje. Apsorbovana količina nikotina u plućima, kod ventiliranih cigareta može biti dva ili više puta manja. Istraživanja su pokazala da je kod tzv. ultralaganih cigareta u glavnoj struji dima bilo manje od 1% nikotina sadržanog u mješavini. Analizom različitih marki cigareta, ustanovljeno je da je nikotin u glavnoj struji dima iznosio od 0,1 do 1,4 mg, a sadržaj nikotina u mješavinama nije se značajnije razlikovao (2,06 – 2,54%). To potvrđuje činjenicu, da prelaz nikotina u glavnu struju dima ovisi o tehnološkim parametrima i konstrukciji cigarete, više nego o samoj količini nikotina u mješavini. Međutim, količina nikotina koju apsorbira organizam pušača, ovisi još i od dubine uvlačenja dima. Ispitivanja su pokazala da pri dubokom uvlačenju duhanskog dima u pluća, organizam pušača apsorbira oko 70% nikotina koji sadrži dim, pri normalnom (manje dubokom) uvlačenju oko 35%, a pri pušenju bez uvlačenja u pluća, apsorbira se samo 5% nikotina.

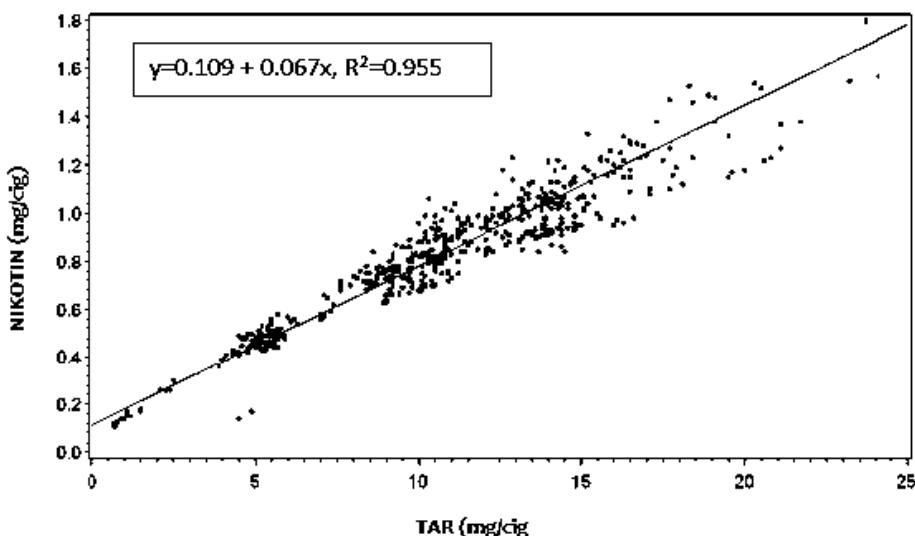
Nikotin u ambijentalnom dimu (ETS) potiče iz sporedne struje dima i iz povratnog dima. Međutim, vrlo teško je izmjeriti koncentraciju nikotina u ETS-u. Neophodna oprema je izuzetno skupa, jer je dim veoma promjenljiv medijum. Ono što je do sada ustanovljeno je da se koncentracija nikotina u okolini relativno brzo smanjuje, jer ga površina okoline apsorbuje (zidovi, namještaj, garderoba). Pri tome, mora se uzeti u obzir da koncentracije svih komponenata, pa i nikotina zavise od broja pušača i od uslova okолног vazduha (temperatura sobe, vlažnost, ventilacija, broj prisutnih osoba).

### **TAR**

*TAR* se definiše kao agregat izdvojene supstance iz čestične faze duhanskog dima, poslije oduzimanja sadržaja nikotina i vlage. Što se tiče biološke aktivnosti TAR-a, ustanovljeno je da umanjuje odbranu organizma od kancera i parališe bronhijalni odbrambeni sistem. Taloži se u plućima pušača. Kod nas je uobičajeni naziv za TAR, katran.

Neki autori opisuju pojam TAR kao „varljiv“. Prema ovim autorima TAR je zbirno ime za hiljadu hemijskih komponenata koje formiraju gusti ljepljivi ostatak duhanskog dima. TAR se smatra posebno toksičnim. Međutim, ovaj dio dima cigareta nema uvijek isti sastav štetnih komponenata, iz razloga što postoje velike varijacije, kako u sastavu mješavine, tako i u fizičkim parametrima dizajna/konstrukcije cigarete. U skladu sa IARC-om (*International Agency for Research on Cancer*), najveći broj supstanci koje su u stanju da izazovu mutacije genetskog materijala ili kancer nalaze se u TAR-u dima.

Slika 21 ilustrira linearan odnos između sadržaja TAR-a i nikotina u glavnoj struci dima. Smanjenjem količine TAR-a, smanjuje se i koncentracija štetnih supstanci, pa je TAR predmet zakonskih ograničenja i standarda.



**Slika 21.** Linearan odnos između sadržaja TAR-a i nikotina u glavnoj struji dima (Morton i sar., 2013)

Industrija cigareta brani se protiv pojedinačnih i institucionalnih tvrdnji o štetnosti pušenja na ljudsko zdravlje i okolinu, nastojanjima da primjenom najsvremenijih tehnoloških metoda proizvede cigarete sa nižim vrijednostima TAR-a u dimu, odnosno sa manjim rizikom štetnosti. Inkorporiranje novih duhanskih sirovina (rekonstituisanog duhana i ekspandovanog nerva), poroznih cigaret-papira, ventilirajućih filtera, dodavanje različitih aditiva i aromata, rezultiralo je da je prosječan sadržaj TAR-a na tržištu 1990-tih bio 15 mg, što je upola manje u poređenju sa prosječnih 30 mg na početku proizvodnje cigareta. Danas se već proizvode cigarete samo sa sadržajem TAR-a od 10 mg/cig .



## **8. SAVREMENA TEHNOLOŠKA DOSTIGNUĆA PROIZVODNJE CIGARETA**

*U*vođenjem različitih inovacija cigareta se stalno mijenja i prilagođava zahtjevima tržišta, što je ujedno odgovor različitim izazovima, posebno kada je u pitanju antipušačka kampanja i odnos pušenja i zdravlja. Neosporno je da duhanski sektor ne može kvalificirano ulaziti u zdravstvenu problematiku i dvojbe oko pušenja, ali može, i treba prije svega iz ekonomskih i tržišnih razloga, unutar svojih stručnih krugova poticati ozbiljna istraživanja za dobijanje zdravstveno prihvatljivog proizvoda.

Posljednjih 50-tak godina industrija cigareta je potrošila značajno vrijeme i novac da razvije "sigurniju" cigaretu. Ona bi morala da zadovolji pušača u količini nikotina i osnovnim pušačkim svojstvima, a istovremeno da bude manje štetna po zdravlje. Dakle, moderne cigarete pažljivo su dizajnirane, kako bi povećale atraktivnost potrošačima i na taj način privlačile nove korisnike i specifične ciljne skupine, te poticale percepciju manjeg osobnog rizika.

Trendovi savremene proizvodnje cigareta podrazumijevaju:

- Postepeno smanjenje TAR-a, nikotina i po zdravlje toksičnih komponenata dima, kod već postojećih marki cigareta, bez ugrožavanja njihove prihvatljivosti.
- Razvoj i uvođenje u proizvodnju novih marki cigareta sa niskim sadržajem TAR-a, nikotina i toksičnih komponenata dima, prilagođenog kvaliteta na pušenje.

Razvoj tehnologija za proizvodnju „sigurnih cigareta“ već danas osiguravaju stabilnu proizvodnju prihvatljivih cigareta do 10 mg TAR-a, 1 mg nikotina i 10 mg CO.

Do sada, primjenjene tehničko - tehnološke mjere, koje su ograničene nizom tehnoloških parametara, kao što je otpor na uvlačenje (PD)<sup>18</sup> kod filtracije i kidljivost papira kod perforacije, odnose se na neselektivno odstranjivanje čestične faze dima. Neselektivno odstranjivanje čestične faze dovodi do relativnog porasta udjela štetnih komponenata dima. Kao pokazatelj „sigurnosti cigarete“ vrlo brzo će biti potencirane neke granice u sadržaju ovih jedinjenja, a ne TPM-a uopšte. Stoga, metode koje se zasnivaju na modifikovanju duhanskog dima, selektivnim odstranjivanjem nepoželjnih komponenata, još uvek su u razvoju. Ove metode podrazumijevaju izmjene uslova i temperatura sagorijevanja, dodatkom specifičnih, namjenski sintetisanih katalizatora, u cilju smanjenja produkcije štetnih komponenti, kao i adsorpcije već formiranih nepoželjnih komponenti duhanskog dima cigareta na aktivnim površinama specifičnih katalizatora, dodatih direktno u duhansku mješavinu ili filter.

U izvještaju za 2008. godinu, studijska grupa o duhanskim proizvodima Svjetske zdravstvene organizacije (SZO) objavila je strategiju za regulisanje duhana na osnovu procjena učinka proizvoda, sa ciljem smanjivanje nivoa izabranih toksičnih sastojaka duhanskog dima.

### Acetaldehid

Acetaldehid (Slika 22) je najviše zastupljen isparljivih aldehid u glavnoj struji dima cigarete. Sa tačkom ključanja od 20-21 °C, isključivo se nalazi u gasnoj fazi cigaretног dima. Prosječna isporuka acetaldehida kod referentne 2R4F cigarete<sup>19</sup> kreće se oko 560 µg/cigareti.

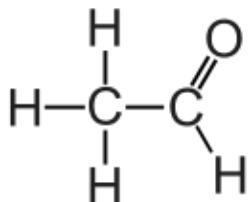
Slično akroleinu ili formaldehidu, acetaldehid se u velikoj mjeri formira termičkim raspadom ugljikohidrata (šećer, skrob, celuloza) i nekih polimera lista duhana (hemiceluloza, lignin), odnosno prekursora koji zajedno mogu predstavljati polovinu težine duhana. Među raznovrsnim markama cigareta, za razliku od drugih aldehida, acetaldehid je povezan sa

---

<sup>18</sup> Otpornauvlače PD – razlika statičkog pritiska između dva kraja cigarete/segmenta pri konstantnom protoku vazduha [17,5 cm<sup>3</sup>/s]

<sup>19</sup> 2R4F referentna cigareta – cigareta koja u svom sastavu ima 32,51% flue-cured duhana, 19,94% berleja, merilenda-1,24%, orijentalnih duhana-11,08%, rekonstituisanog duhana-27,13%

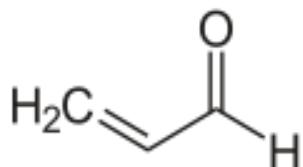
emitovanom količinom TAR-a. Utjecaj azotnih spojeva (npr. kod berleja i flue-cured duhana) na formiranje acetaldehida u dimu je mnogo niži u odnosu na njihov utjecaj u formiranju formaldehida.



**Slika 22.** Hemiska struktura acetaldehida

### Akrolein

Tačka ključanja akroleina (Slika 23) je 53 °C. Gotovo eksplicitno je pronađen u gasnoj fazi glavne struje dima cigareta i oko 93% akroleina prolazi kroz Kembridž filter.

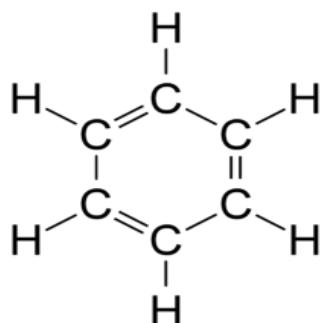


**Slika 23.** Hemiska struktura akroleina

Akrolein se formira u nižim temperaturnim područjima pirolitičkom razgradnjom ugljikohidrata i strukturnih polimera lista duhana. Mono i disaharidi imaju manji utjecaj na formiranje akroleina u dimu cigarete u odnosu na složene ugljikohidrate. Trigliceridi su također prekursori formiranja akroleina. Pirolitički put formiranja akroleina iz glicerola je minoran.

### Benzen

Sa tačkom ključanja od 80 °C, benzen (Slika 24) je prisutan u gasnoj fazi glavne struje dima cigareta. Benzen se može formirati na nižim temperaturama (oko 300 °C) pirolizom duhana, ali veća količina se formira na temperaturama između 450 °C i 600 °C. Prisustvo kiseonika doprinosi povećanom formiranju benzena, iako čisti flue-cured duhan pokazuje manju osjetljivost na kiseonik.

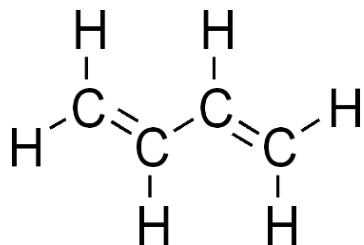


**Slika 24.** Hemiska struktura benzena

Piroliza duhana, nakon različitih procesa ekstrakcije, dovela je do zaključka da organske kiseline i terpeni značajno doprinose formiranju benzena u dimu. Stearinska kiselina, kao i polifenoli su dobri pirolitički prekursori za formiranje benzena u dimu.

### 1,3-Butadien

1,3 butadien (Slika 25), sa tačkom ključanja od -4°C, uglavnom je prisutan u gasnoj fazi glavne struje dima. Njegov sadržaj u referentnoj 2R4F cigareti je oko 30 µg/cigaretu.

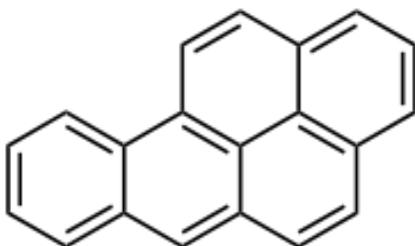


**Slika 25.** Hemiska struktura 1,3-butadiena

Primarni mehanizmi formiranja 1,3 butadiena u dimu su reakcije termičkog krekinga na užarenom uglju duhana, što podrazumijeva da su za njegovo formiranje odgovorni zajednički prekursori iz duhana, koji također mogu formirati benzen i policiklične aromatske ugljikovodike (PAH-ove).

#### Benzo(a)piren

Benzo[a]piren (Slika 26), čija tačka ključanja je na 495°C, pretežno je prisutan u čestičnoj fazi glavne struje dima. Prosječan sadržaj B[a]P u dimu referentne 2R4F cigarete je oko 7 ng/cigareti. Iako je zastupljen samo nekoliko procenata u odnosu na produkciju ukupnih PAH-ova, njegova dobro obilježena kancerogenost izazvala je veliki broj istraživanja.



**Slika 26.** Hemiska struktura benzo(a)pirena

PAH-ovi se formiraju na visokim temperaturama, reakcijama koje uključuju male ugljikovodonične radikale. To je vjerovatno razlog zašto azotni oksidi

(NO<sub>x</sub>), nastali pirolitičkom razgradnjom nitrata duhana, mogu ukloniti radikale i spriječiti formiranje PAH-ova u dimu cigarete.

### Ugljen monoksid

Ugljen monoksid je gas bez boje, okusa i mirisa, čija tačka ključanja je 191,6°C. Prosječna količina CO u glavnoj struji dima referentne 2R4F cigarete je oko 12 mg/cigareti.

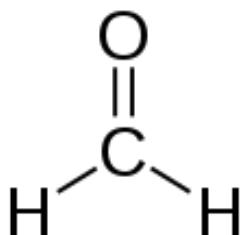
Formiranje ugljen monoksida (CO) u dimu cigarete objašnjeno je kroz niz istraživanja, koja su pokazala da se CO formira kombinacijom tri različita procesa: sagorijevanjem, pirolizom i dovođenjem u ravnotežu CO i ugljen dioksida (CO<sub>2</sub>) u prisustvu ugljika. Mehanizam i relativna važnost svakog od ovih puteva nastanka CO u dimu cigarete je:

- Sagorijevanje: mješavina CO i CO<sub>2</sub> direktno nastaje nepotpunim sagorijevanjem duhana; ovaj put čini oko 36% od ukupne isporuke CO.
- Piroliza duhana ispod temperature paljenja doprinosi približno 30% isporuke CO.
- Redukcija CO na užarenom uglju (Boudouardova jednačina 3): CO i CO<sub>2</sub> međusobno konvertuju na površini užarenog uglja, ravnoteža ovisi od temperature užarenog uglja. To bi iznosilo oko 23% produkcije CO, ukoliko bi temperatura užarenog uglja bila 700°C, ali zapravo riječ je o doprinosu jedne trećine od ukupne isporuke CO, jer je temperatura užarenog uglja bitno veća. To objašnjava odnos između smanjenja temperature uglja i snižavanje isporuke CO u dim.



### Formaldehid

Formaldehid (Slika 27) je veoma reaktivno jedinjenje koji se veoma lako polimerizuje, i može reagovati sa vodom i amonijakom ( $\text{NH}_3$ ) prisutnim u glavnoj struji dima. Uprkos veoma maloj molekularnoj masi i tački ključanja od  $-21^\circ\text{C}$ , oko 30 do 40% formaldehida zadržava se na Kembridž filteru. Iz tog razloga prisutan je i u glavnoj i u sporednoj struji cigaretog dima. Količina formaldehida u glavnoj struji dima, kreće se od 1,3  $\mu\text{g}$  kod filter cigareta, do 283  $\mu\text{g}$  kod cigareta bez filtera, iako je 60  $\mu\text{g}$  više tipična gornja granica za moderne filter cigarete. Prosječna isporuka formaldehida u dimu 2R4F referentne cigarete je oko 22  $\mu\text{g}/\text{cigareti}$ .



**Slika 27.** Hemijska struktura formaldehida

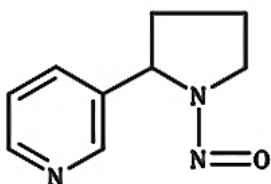
Poput ostalih isparljivih aldehida, kao što su acetaldehid ili akrolein, formaldehid se formira pirolizom mnogih komponenata. Uglavnom je primarni produkt pirolize mono i disaharida, ali može da se formira i iz celuloze, masti i voskova. Provedena istraživanja pokazuju da se sa povećanjem prinosa TAR-a, kao i dodavanjem veće količine invertnih šećera direktno u duhan, konzistentno povećava i prinos formaldehida u dimu cigarete. Na prinos formaldehida značajno utiče i prisustvo alkalijskih metala, kao što je kalij.

Formaldehidni prekursori u duhanu razgrađuju se na temperaturama iznad  $250^\circ\text{C}$ . Prisustvo kiseonika tokom pirolize duhana povećava nastajanje formaldehida iz celuloze i skroba, ali smanjuje njegovo formiranje iz glukoze i fruktoze. Pojedina jedinjenja amonijaka, prisutna u duhanu,

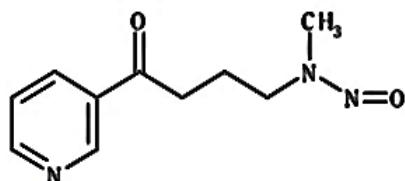
reaguju sa šećerima, i na taj način sprječavaju formiranje formaldehida razlaganjem šećera.

Duhanski specifični nitrozamini (TSNA)

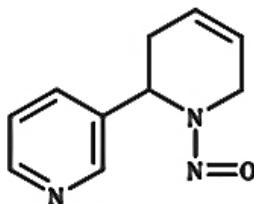
Duhanski specifični nitrozamini (TSNA), jaki kancerogeni, koji uključuju (Slika 28): N'-nitrozonornikotin (NNN), 4-(metilnitrozamino)-1-(3-piridil)-1-butanon (NNK), N'-nitrozoanatabin (NAT) i N'-nitrozoanabazin (NAB), pronađeni su u velikoj količini u čestičnoj fazi, za razliku od isparljivih nitrozamina koji su primarno zastupljeni u gasnoj fazi glavne struje dima. U dimu 2R4F referentne cigarete sadržaj NNN-a kreće se u prosjeku oko 133 ng/cigareti, a NNK-a oko 116 ng/cigareti.



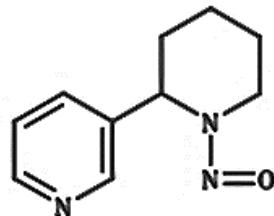
N'-nitrozonornikotin (NNK)



4-(metilnitrozamino)-1-(3-piridil)-1-butanon (NNK)



N'-nitrozoanatabin (NAT)



N' - nitrozoanabazin (NAB)

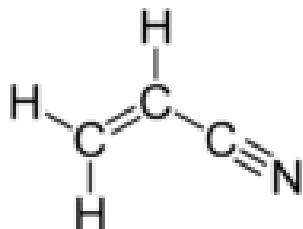
**Slika 28.** Strukturne formule duhanskih specifičnih nitrozamina (TSNA)

TSNA se ne nalaze u zelenom duhanu. NNN i NNK formiraju se tokom procesa sušenja i skladištenja duhana. Jedini poznati prekusor za formiranje NNK je nikotin.

Istraživači sugeriraju da oko polovina nitrozamina prisutnih u duhanu, u dim se prenosi nepromijenjena, i da proces pirosinteze ima važan doprinos u formiranju NNN-a (54%) i NNK-a (63-74%), za razliku od drugih koji tvrde da pirosinteza ima neznačajan doprinos u formiranju ovih nitrozamina.

### Akrilonitril

Akrilonitril (Slika 29), koji se formira pirolizom duhana, sa tačkom ključanja od 77,3°C, nalazi se u gasnoj fazi glavne struje dima. Prosječan sadržaj akrilonitrila u dimu 2R4F referentne cigarete je oko 7,3 µg/cigareti. Potvrđena su mišljenja da je formiranje akrilonitrila povezano sa raspoloživošću i reakcijama NO.



**Slika 29.** Hemiska struktura akrilonitrila



## 9. GLAVNI PARAMETRI DIZAJNA CIGARETE KOJI UTIČU NA PRODUKCIJU DIMA

Ukupna produkcija dima cigarete ovisi o parametrima vezanim za duhansko punilo kao što su: tipovi duhana i njihove količine, kao i ostali materijali koji se mogu naći u punjenju (rekonstituisani duhan i ekspandovani lisni nerv), denziteta mješavine<sup>20</sup> (gustoća pakovanja), širine reza, tipa i količine korištenih aditiva - prije svega korektora gorenja koji ubrzavaju proces gorenja ili podržavaju više temperature tokom pirolize, vlage duhana i dr.

Iako duhansko punilo predstavlja glavni izvor dimnih sastojaka, fizičke karakteristike konstrukcije cigarete, papirni elementi cigarete, filteri, kao i način pušenja, također, imaju utjecaj na svojstva proizvedenog dima.

Općenito, smanjenje ukupne produkcije dima može se postići kombinacijom raznih parametara dizajna cigarete. Pod dizajnom cigarete podrazumijevaju se geometrijski parametri cigarete kao što su:

- fizičke karakteristike svitka (dužina, obim, masa i širina reza materijala od koje je svitak izrađen),
- papirni elementi cigarete (cigaret papir – ovoj svitka, ovoj filtera i **kork**),
- filter (tip filtera - efikasnost i ventilacija filtera)

---

<sup>20</sup> Denzitet mješavine  $D_m$  – masa jedinične zapremine mješavine/gustoća pakiranja [g/cm<sup>3</sup>]

## 9. 1. UTJECAJ FIZIČKIH KARAKTERISTIKA SVITKA NA PRODUKCIJU GLAVNE STRUJE DIMA

*J*ako su današnje komercijalne cigarete općenito cilindričnog oblika, mogu biti napravljene u različitim dužinama i obimima. Razlozi za usvajanje različitih dimenzija uključuju troškove, marketinške ciljeve i vladine propise. Međutim, promjena dimenzije cigarete može uticati na produkciju i glavne (MM) i sporedne (SS) struje dima.

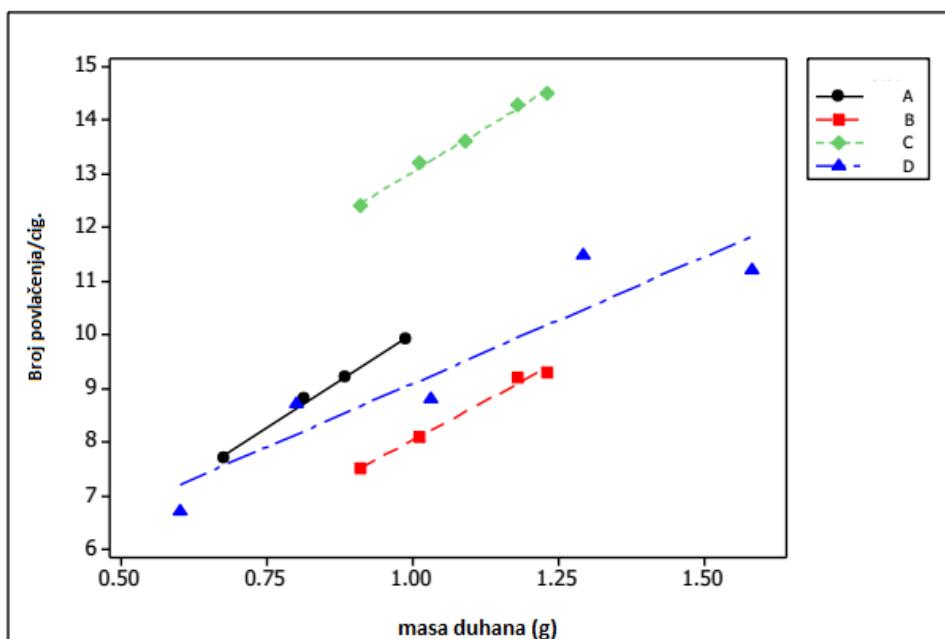
Kod raznih tipova i vrsta cigareta upotrebljava se različita dužina, a kreće se od 45 do 140 mm. Dužine koje se najčešće upotrebljavaju su:

- standardna – 64-70 mm,
- “king size” – 84/85 mm,
- luksuzna dužina (dugačke) – 85-95 mm,
- internacionalna “super long” – 94-99 mm,
- 100S – 100 mm.

Pri ovoj kategorizaciji ne primjenjuju se neke striktne granice.

Sa povećanjem **dužine** cigarete povećava se i **masa** materijala od kojeg je duhanski segment napravljen. Generalno bi se moglo reći da sagorijevanje veće mase duhana u cigaretama dovodi do formiranja veće količine dima, odnosno da između mase duhana u duhanskom svitku i broja povlačenja po cigaretama (Slika 30) postoji direktna ovisnost. Međutim, sa povećanjem dužine svitka povećava se i vrijeme zadržavanja dima u njemu, kao i površina materijala/duhana sa kojom dim dolazi u kontakt, tako da se značajan broj komponenti dima adsorbuje i kondenzacije, odnosno svitak se „ponaša“ kao svojevrstan filter.

Povećanje mase duhana u cigaretama znači povećanje gustoće pakiranja, i očekuje se da će i prinosi TAR-a i nikotina u dimu uslijediti u skladu s tim. Međutim, pakiranje više od 1,0 g duhana u cigaretama od 85 mm uzrokuje smanjenje TAR-a i nikotina u dimu, najvjerojatnije zato što duhan djeluje kao filter za dim.

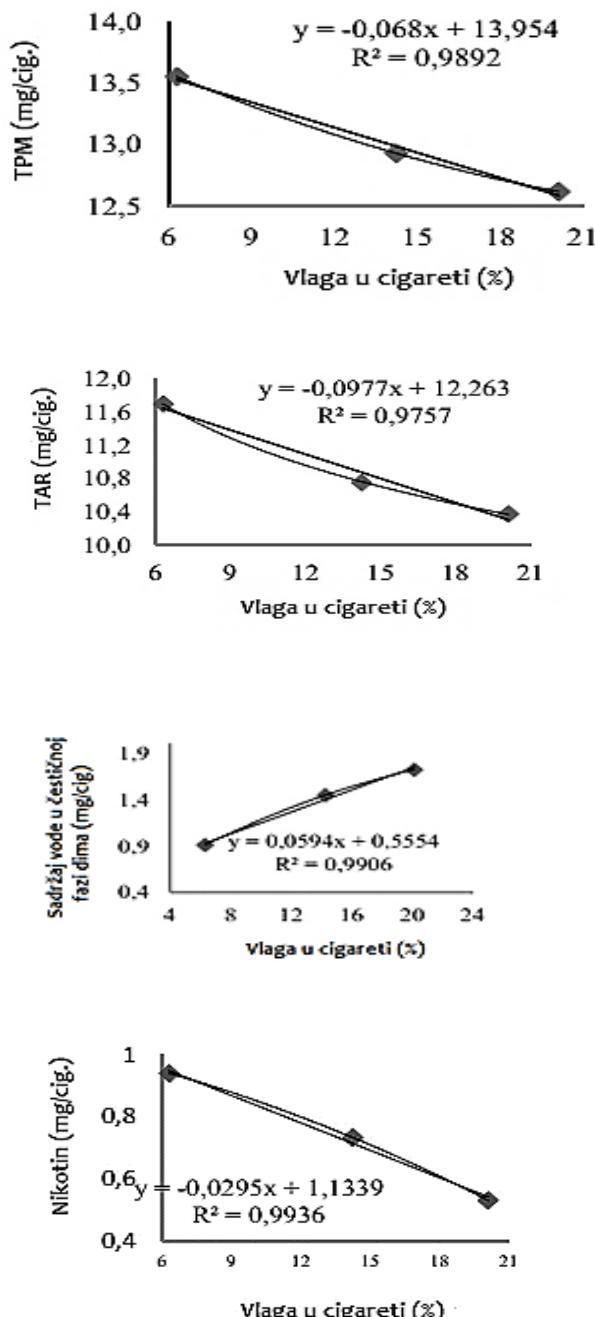


A – blend cigareta 84 mm, B i C obične flue-cured 72 mm cigarete i D -70 mm flue-cured cigarete

**Slika 30.** Broj povlačenja u ovisnosti od mase duhana u duhanskom segmentu filter cigareta (McAdam i sar., 2016)

Dodatno, na masu svitka može se uticati variranjem i drugih fizičkih karakteristika svitka, kao što su širina reza i vлага. Kada se **širina reza** izrezanog duhana mijenja iz finog u grubi rez, povećava se broj povlačenja po cigareti što za posljedicu ima i veću produkciju glavne struje dima cigarete. Uglavnom, kod cigareta koje su ispunjene grubim rezom, sagorijevanje duhana je manje učinkovito u odnosu na one izrađene sa finijim rezom duhana.

Na ukupnu produkciju dima utiče i sadržaj vlage u cigaretama. Optimalni sadržaj vlage u cigaretama trebalo bi da iznosi  $12 + 0,5\%$ . Najznačajniji porast produkcije TAR-a je pri porastu sadržaja vlage u cigaretama, od 11,26 do 11,99%. U intervalu od 11,99% do 12,1% vlage, količina TAR-a opada. Pri daljem porastu sadržaja vlage, produkcija TAR-a u dimu raste.



**Slika 31.** Producija TPM-a, TAR-a, nikotina i vode u čestičnoj fazi dima u ovisnosti od sadržaja vlage u cigaretci (Đulančić i sar., 2014)

Povećani sadržaj vlage, od optimalnog, za posljedicu ima signifikantno povećanje broja povlačenja po cigaretu, kao i sadržaja vode u čestičnoj fazi glavne struje dima, što za posljedicu ima formiranje veće količine TPM-a. Signifikantno vrlo jaka negativna korelacija konstatovana je između prosječnog sadržaja TPM-a ( $r = -0,98$ ), TAR-a ( $r = -0,97$ ), nikotina ( $r = -0,99$ ) i **sadržaja vlage** u cigaretama. S druge strane, između sadržaja vode u čestičnoj fazi, glavne struje dima, i **vlage u cigaretama** postoji značajna, veoma jaka pozitivna ( $r = 0,99$ ) korelacija (Slika 31.)

**Obim** današnjih komercijalnih cigareta ograničen je mašinama za izradu cigareta, standardnim izvedbama proizvoda i prihvatljivosti od strane potrošača. Kod tradicionalnih „king size“ cigareta obim se kreće od 24 do 25 mm, dok tanji stilovi izvedbi cigareta mogu imati obime koji se kreću od 14 do 24 mm. Iako nomenklatura nije standardizovana, cigarete s obimom od 22 do 24 mm često se nazivaju „slim“/tanke, one između 19 i 22 mm nazivaju se „demi slim“/polu tanke, a cigarete s obimom od 14 do 19 mm nazivaju se „super slim“/super tanke. Na tržištu postoje i cigarete koje su značajno veće od tradicionalnih cigareta, čiji obim je u rasponu od 27 do 28 mm.

Cigarete, različitog obima, obično se komercijalno nalaze u dužinama od 80 do 85 mm, 90 do 100 mm i 120 mm. Trenutno, cigarete manjeg obima postaju sve popularnije u pojedinim dijelovima svijeta, pa tako i u Bosni i Hercegovini.

Obim cigarete je jedna od varijabli koje se mogu mijenjati tokom dizajniranja cigarete. Kada je obim cigarete reducirana, događaju se dvije glavne fizičke promjene. Prva, možda očigledna, je da kod konstantnog denziteta pakovanja (denziteta duhana u cigaretnom svitku) i dužine duhanskog štapića, proporcionalno se smanjuje masa duhana u odnosu na smanjenje poprečnog presjeka. Druga je da, pri konstantnom protoku vazduha, reduciranjem poprečnog presjeka cigarete, povećava se otpor na uvlačenje (PD). Za duhanski segment, otpor na uvlačenje može se izračunati prema slijedećoj jednačini:

$$\begin{aligned} PD &= K \left[ \left( \frac{p_p}{p_T} \right)^2 / \left( 1 - \frac{p_p}{p_T} \right)^3 \right] F/A \\ &= K \left[ \left( \frac{p_p}{p_T} \right)^2 / \left( 1 - \frac{p_p}{p_T} \right)^3 \right] F 4\pi / C^2 \end{aligned} \quad \dots\dots (4)$$

gdje je:  $K$  - empirijska konstanta određena procesom izrade;

$F$  - protok zraka kroz duhanski štapić ( $\text{cm}^3/\text{s}$ )

$A$  – površina poprečnog presjeka ( $\text{cm}^3$ )

$C$  – obim cigarete

$p_p$  – denzitet cigarete

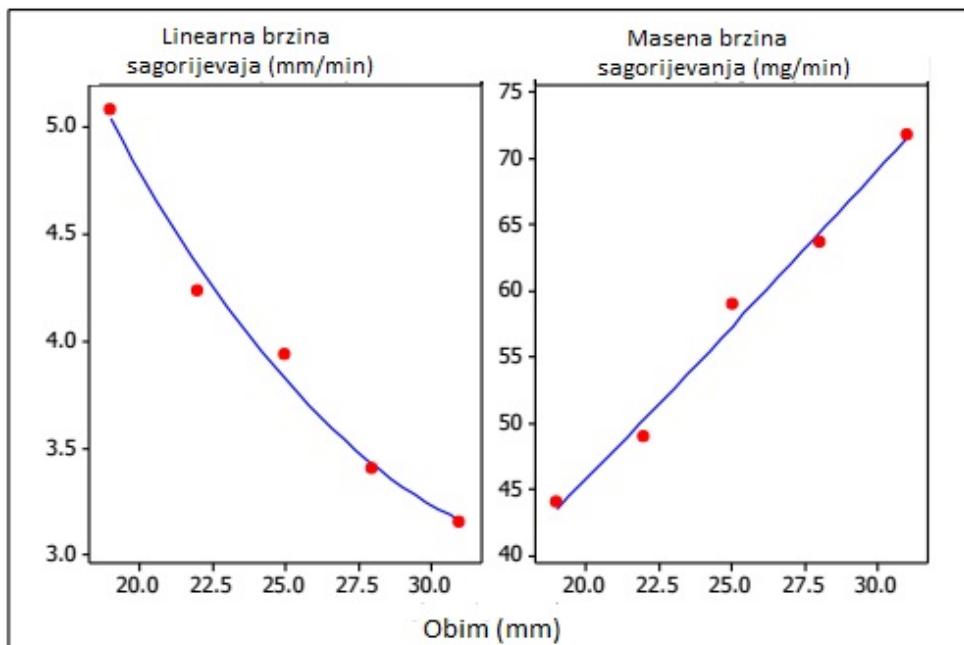
$p_T$  – denzitet duhana

Kako se obim cigarete smanjuje, manje duhana je dostupno za konzumiranje tokom procesa pušenja, što rezultira odgovarajućim smanjenjem ukupne produkcije, a time i nekih komponenata dima. Ovaj fenomen zabilježen je za cigarete čiji obim je manji (23 mm ili manji) u odnosu na regularni od 24,8 – 25,5 mm. Na primjer, smanjenjem obima od 26 mm na 21 mm, količina CO, po povlačenju, smanjuje se oko 20%, a emitovanje B[a]P oko 40%. Sadržaj nikotina, u glavnoj struji dima cigarete, obima 26 mm, reducira se od 1,56 mg/cigareti do 1,21 mg/cigareti, sa obimom od 23 mm.

Smanjenje obima cigarete (pri istoj dužini) povećava brzinu protoka dima, odnosno smanjuje potrebno vrijeme da dim prođe od žara do usta pušača. Kod super-slim cigareta, koje općenito imaju obim manji od 17 mm, brzina protoka dima je više nego dvostruko veća u odnosu na cigarete standardnog obima.

Dosadašnja istraživanja pokazala su da, pod standardnim uslovima pušenja, smanjenjem obima cigarete u rasponu od 19 do 31 mm (konstantnog denziteta) smanjuje se masena brzina sagorijevanja, kako tokom procesa povlačenja, tako i u toku procesa tinjanja cigarete, dok se linearna brzina sagorijevanja cigarete povećava (Slika 32). Preko ovog raspona, linearna brzina sagorijevanja je obrnuto proporcionalna, za razliku od masene

brzine sagorijevanja, koja je direktno proporcionalna veličini obima cigarete.



Slika 32. Linearna i masena brzina sagorijevanja u odnosu na obim cigarete(McAdam i sar., 2016)

Veća linearna brzina sagorijevanja, koja se događa reduciranjem obima cigarete, dovodi i do smanjenja broja povlačenja dima po cigaretama, a samim tim i do redukcije ukupne produkcije kako čestične, tako i gasne faze dima. Ovo potvrđuje da je brzina protoka dima značajan faktor koji utiče na raspodjelu i veličinu čestica.

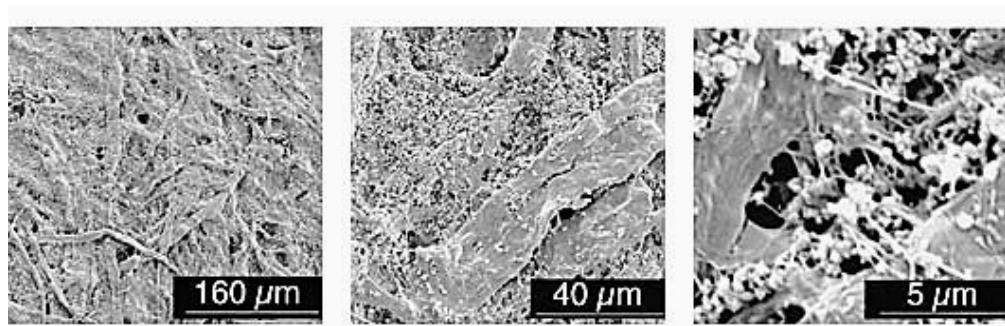
Istraživanja su pokazala da, u odnosu na mašinsko pušenje, količina mnogih komponenata dima, izuzev za formaldehid, amonijak i fenole, niža je u emisiji dima 6 flue-cured super slim cigareta (obim 16,7 – 17 mm; dužina 83-99 mm; masa duhana 296-371 mg), u odnosu na dim standardne cigarete, upravo zbog smanjene količine duhana i manjeg broja povlačenja po cigareti. Povećanje formaldehida, u dimu slim cigareta, pripisano je smanjenom obimu površine poprečnog presjeka, koji je tokom procesa

pušenja, omogućio reakcije oksidacije, dopuštajući veći kontakt duhana sa okolnim zrakom. Veće emitovanje fenola povezano je sa povećanjem temperature sagorijevanja cigarete, uslijed smanjena obima.

#### **9. 2. UTJECAJ CIGARET PAPIRA NA PRODUKCIJU GLAVNE STRUJE DIMA**

Cigaret papir prevashodno ima funkciju omotavanja duhanskog svitka. Utiče na vanjski izgled i sagorljivost cigarete, kao i na karakteristike formiranog dima. Budući da i sam sagorijeva, cigaret papir ne smije da sadrži jedinjenja koja bi ugrozila proces sagorijevanja cigarete ili kvalitet proizvedenog dima. Također, da bi ostavio povoljan dojam na potrošača, treba lijepo da izgleda.

Glavni sastojak cigaret papira su celulozna vlakna. Najkvalitetnije sirovina su lan i konoplja. Kao punilo koristi se prečišćeni kalcijum karbonat (20 - 30%). Tipična struktura cigaret papira prikazana je na Slici 33.



**Slika 33.** Skenirani elektronski snimak tipične strukture cigaret papira  
(Branton, and Baker, 2002)

Sagorljivost je jedno od najvažnijih kvalitativnih svojstava cigaret papira. Ovisna je od procenta i tipa punila. Za poboljšanje sagorijevanja, cigaret papiru se dodaju aditivi, kao što su kalijev ili natrijev citrat u količini do 2%.

Uobičajena tehnika za smanjenje ukupne produkcije dima je i upotreba poroznih/propustljivih cigaret papira. Distribucija (raspodjela) i veličina pora cigaret papira određuje njegovu propustljivost i difuzijski kapacitet, koji imaju značajan utjecaj na razmjenu gasova tokom procesa pušenja i tinjanja cigarete. Prirodna propustljivost cigaret papira, kod većine komercijalnih cigareta, kreće se od 14 do 51 (CU)<sup>21</sup>. Za bolju propustljivost cigaret papira potreban je viši porozitet, što se može postići laserskim postupkom perforacije.

Veće pore (prečnika od 2.5 μm i 10 μm) su u boljoj korelaciji sa propustljivošću zraka, dok manje pore (prečnika oko 1.0 μm) jače koreliraju sa difuzijskim kapacitetom gasova koji difundiraju kroz cigaret papir. Sve ovo rezultuje smanjenom produkcijom i čestične i gasne faze dima, dilucijom i hlađenjem nastalog dima, uslijed čega se i kondenzacija komponenti dima pojačava. Ustvari, na ovaj način se vrši ventilacija cigarete (Slika 38) preko otvora u cigaret papiru, što se može predstaviti slijedećom jednačinom (jednačina 5).

$$V_p = Q_p / Q_d \quad \dots \dots (5)$$

gdje je:  $V_p$  - ventilacija kroz papir

$Q_p$  - protok zraka kroz papir (cm<sup>3</sup>/min)

$Q_d$  - zadati protok (cm<sup>3</sup>/min)

Protok vazduha kroz papir zavisi od otpora na uvlačenje u cigaretnom štapiću i propustljivosti papira (jednačina 6). Ventilacija kroz papir opada sa svakim skraćenjem duhanskog štapića.

---

<sup>21</sup> CU - CORECTA UNIT–Coresta jedinica za propustljivost papira koja označava protok vazduha kroz 1 cm<sup>2</sup> papira pri razlici pritiska od 1kPa (CORESTA recomended method No 40)

$$Q_p = Z \times A \times PD + Z' \times A \times PD \quad ..... (6)$$

gdje je:

A - površina papira kroz koju vazduh prolazi ( $\text{cm}^2$ )

PD - otpor na uvlačenje kroz cigaretni štapić ( $\text{cm VS}$ )

Z - permeabilnost prema spoljnem protoku ( $\text{cm/min/10 cm VS}$ )

Z' - permeabilnost prema unutrašnjem protoku

Porozitet papira utiče na visinu temperature sagorijevanja cigarete. Sa povećanjem poroznosti cigaret papira, temperatura žara se smanjuje, cigareta brže gori zbog povećane brzine sagorijevanja. Obzirom da, više duhana sagori tokom tinjanja cigarete, smanjuje se broj povlačenja što rezultira reduciranjem količine TPM-a, a time i nikotina i TAR-a. Najučinkovitije sredstvo za smanjenje CO u gasnoj fazi, u odnosu na TAR ili nikotin u čestičnoj fazi glavne struje dima cigarete, je da se izmjeni dizajn cigarete na takav način da se poveća difuzija CO iz duhanskog svitka, upotrebom visokoporoznih cigaret papira. CO kao veoma nestabilna komponenta dima, lako difundira kroz porozni cigaret papir, čime se njegova koncentracija u dimu smanjuje u odnosu na manje isparljive sastojke (Tabela 12).

Brzina sagorijevanja, odnosno broj povlačenja po cigaretama ima utjecaj na prelaz nikotina iz duhana u dim cigarete. Ukoliko je sagorijevanje brže, u dim prelazi manja količina nikotina. Statistički vrlo jaka pozitivna korelacija ( $r=0,95$ ) između broja povlačenja po cigaretama i sadržaja nikotina u cigaretnom dimu potvrđuje ovu konstataciju. Rezultati istraživanja također ukazuju da je utvrđena statistički vrlo jaka međuzavisnost između sadržaja TPM-a, TAR-a, CO i broja povlačenja po cigaretama (Tabela 13).

**Tabela 12.** Sadržaj čestične faze i CO u gasnoj fazi glavne struje dima cigareta u ovisnosti od poroziteta cigaret papira  
(Đulančić, 2017)

Cigaretra <sup>a</sup>	Porozitet papira (CU)	Broj povlačenja po cigaretti	TPM (mg/cig)	TAR (mg/cig)	Nikotin (mg/cig)	CO (mg/cig)
C	6	8,5 <sup>a</sup>	14,16	11,81	0,90	12,49
C <sub>1</sub>	42	7,87 <sup>b</sup>	13,51	10,06	0,80	10,15
C <sub>2</sub>	70	7,17 <sup>c</sup>	11,87	8,85	0,76	9,64
C <sub>3</sub>	100	6,61 <sup>d</sup>	9,94	7,31	0,68	9,04

<sup>a</sup> cigarete sa identičnim sastavom mješavine/blenda, istim parametrima kvaliteta filtera, u dimenziji od 84 mm dužine, sa duhanskim segmentom od 64 mm i filter segmentom od 20 mm

Koncentracija B[a]P se također reducira sa povećanjem propustljivosti cigaret papira, a direktno je povezana sa manjim količinama duhana konzumiranim tokom procesa pušenja cigarete, jer više duhana izgori tokom procesa tinjanja cigarete.

Filtriranje zraka, i povećana poroznost papira, također, može povećati koncentraciju nikotina u njegovom neprotoniziranom (nejoniziranom) obliku, koji ima veću biodostupnost u dimu.

**Tabela 13.** Personov koeficijent korelacije između analiziranih komponenata dima i broja povlačenja po cigaretama  
(Đulančić i sar., 2017)

	TPM	TAR	Nikotin	CO	Broj povlačenja po cigaretama	Cigaret papir CU
TPM	1	.966**	.923**	.833**	.970**	-.965**
TAR		1	.972**	.946**	.990**	-.999**
Nikotin			1	.942**	.951**	-.969**
CO				1	.917**	-.945**
Broj povlačenja					1	-.994**
Cigaret papir (CU)						1

### 9. 3. UTJECAJ DIZAJNA FILTERA NA PRODUKCIJU GLAVNE STRUJE DIMA

Proizvodnja filter cigareta neminovna je posljedica više elemenata, a prije svega da se u izvjesnoj mjeri zaštiti zdravlje pušača, jer činjenica je da se dobar dio jedinjenja iz duhanskog dima zadržava u filteru.

Sastavni dijelovi filtera su: materijal za izradu filter štapića (snop vlakana), plastifikator (triacetin, koji stvrđnjava filter vlakna), omotač (ovoј) filtera i ljepilo za spajanje filter papira sa filter štapićem. Materijal od kojeg se izrađuje filter omotava se papirom (omotač filtera) da se dobije filter štapić. Omotač filtera obično je izrađen od prerađenog lanenog vlakna uz dodatak punila, najčešće kalcijeva karbonata i nekih drugih primjesa.

Ukupna efikasnost filtera u zadržavanju, odnosno retenciji, komponenata dima (efekat filtracije) obično je kontrolisana karakteristikama materijala koji se koriste za izradu filtera, načina izrade, kao i od svojstava čestica dima koji se filtrira, a može se izraziti jednačinom (jednačina 7).

$$E = \frac{W_1}{(W_1 + W_2)} \times 100\% \quad ..... (7)$$

gdje je:

$W_1$  - koncentracija komponenata zadržanih u filteru, a

$W_2$  - količina komponenata koje izlaze iz filtera

Brzina dima također je važan parametar koji određuje efikasnost filtera, kako za retenciju čestične, tako i za adsorpciju komponenata gasne faze dima. Zadržavanje komponenata čestične faze dima smanjuje se kako se brzina dima povećava.

Karakteristike filtera su usko povezane sa otporom na uvlačenje, tako da većina faktora koja povećava PD, povećava i efikasnost filtera. Faktori, kao što su smanjenje presjeka i dužine vlakna, povećanje dužine filtera, kompaktnije „pakovanje“ vlakana i povećanje obima filtera, povećavaju

efikasnost filtera, dok faktori kao što su orijentacija vlakna i uniformnost prostornog rasporeda imaju drugačije efekte. Iz tog razloga se i osnovna jednačina (jednačina 8) za određivanje efikasnosti filtera zasniva na utvrđivanju utjecaja pomenutih faktora na PD.

$$PD_1 = 2,419 \times 10^4 QLS\alpha / c^2 d^{1/2} b F(\alpha\theta) \quad \dots \dots (8)$$

gdje je:

PD – pad pritiska (bez ventilacije) (mm VS)

Q – zapreminski protok ( $\text{cm}^2/\text{sec}$ )

L – dužina filtera (mm)

S – specifična površina filtera ( $\text{m}^2/\text{g}$ )

$\alpha$  – zapreminska frakcija filtera =  $\frac{4000 \pi W}{C\rho}$

W – težina vlakna (g)

C – obim filtera (mm)

$\rho$  – gustina polimera ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

d – denijaža pojedinačnog vlakna ( $\text{g}/\text{g} \times 10^5 \text{cm}$ )

b – aglomeracioni faktor (1)

$F_{(\alpha\theta)} = (2\alpha - 1 - 1n\alpha) + (4\alpha - 3\alpha^2 - 2 - 1n\alpha) \cos\theta$

$\cos\theta = TL/9 \times 10^6 W$ , gdje je  $\theta$  prosječan ugao uvijanja vlakna

(stopen)

T – ukupna denijaža ( $\text{g}/9 \times 10^5 \text{ cm}$ )

Međutim, izmjereni podaci pada pritiska mogu značajno da odstupaju od empirijskoga modela, jer pored veličine, oblika i brzine čestica, i njihova druga svojstva (naelektrisanje, koeficijent isparljivosti, rastvorljivost, oblik i veličina pora na vlaknu) mogu imati izvjestan utjecaj na efekte filtriranja.

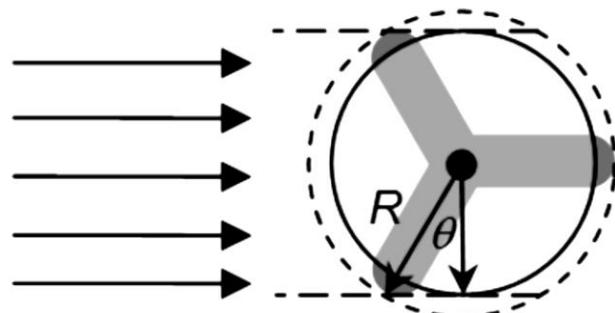
Dakle, efikasnost filtera može se podešavati variranjem presjeka, dužine i denijaže vlakna, kao i dužinom filtera.

### 9. 3. 1. Acetatno-celulozni filteri

Acetatna celuloza (AC), koja predstavlja derivat celuloze, je trenutni materijal odabira za većinu filtera za cigarete.

Rani celulozno-acetatni filteri bili su izrađeni od veoma jednostavnih vlakana/niti, niskog stepena finoće. Dužina cigaretnog filtera bila je od 10 do 11 mm. Sposobnost filtracije ovih filtera bila je veoma slaba. Preduslov za poboljšanje učinkovitosti filtracije cigaretног dima započeo je sa izradom filtera veće dužine, gušćeg preklapanja vlakna (tzv., „crimp“) i poprečnog presjeka u obliku slova Y i X (poprečni presjek može biti i u obliku slova N i I).

Za izradu cigaretnih filtera koriste se trake acetatne celuloze (pakovane u bale). Trake su sastavljene od acetatnih niti (3.000 - 35.000 niti u traci). Acetatne niti uglavnom imaju poprečni presjek Y (Slika 34), koji obezbjeđuje najveću efikasnost filtera.



Slika 34. Približan oblik acetatne niti poprečnog presjeka Y

Za kvalitet niti od posebnog značaja je odnos mase vlakna sa tačno određenom dužinom (jednačina 9) i za mjeru tog odnosa uvedena je jedinica DENIER (DEN).

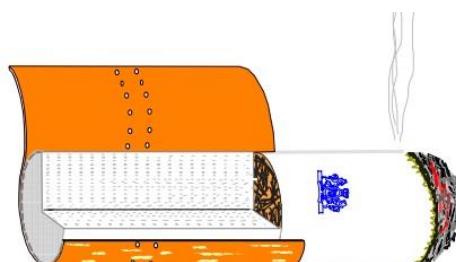
$$1 \text{ DEN} = 1 \text{ gram}/9.000 \mu\text{m} \quad \dots\dots (9)$$

Ukupna denijaža se izračunava množenjem broja niti (vlakana) u traci sa pojedinačnom dimenzijom vlakna.

Tipična specifikacija acetata koja se najčešće koristi u izradi acetatnog filtera je 3,0 Y 35.000, gdje je:

- 3,0 je oznaka za denijažu jedne niti i znači da jedna nit dužine 9.000 m teži 3 g,
- Y – označava oblik poprečnog presjeka, i
- 35.000 je oznaka ukupne denijaže.

Proces filtracije cigaretног dima sličan je filtraciji aerosola, s tim da kod filtracije dima dolazi do otpora filtera na uvlačenje (PD) unutar određenih granica, što ograničava veličinu i presjek filtera. Kod acetatno-celuloznih filtera (Slika 35) suština filtracije je zadržavanje čestica dima na vlaknima filtera uslijed adsorpcije. U ovisnosti od brzine protoka i promjera čestica dima definisana su tri osnovna mehanizma filtracije.



**Slika 35.** Acetatno celulozni filter

**Difuziona filtracija** nastaje kada male čestice dima, u obliku aerosola, u nasumičnom kretanju (Brown-ovo kretanje) udare u vlakna filtera, a potom budu uhvaćene. Efikasnost ovog načina filtracije povećava se sa dužinom boravka čestica manjeg promjera u prostoru između vlakana filtera, odnosno sa manjom brzinom dima. Slika 36 ilustrira taj efekat.



Slika 36. Ilustracija difuzione filtracije (Wen i sar., 2015)

**Direktni sudar** nastaje kada relativno velike čestice dima u normalnom toku/struji dima prolaze tako blizu da dodiruju površinu vlakna. Ovaj mehanizam filtracije neovisan je od brzine kretanja čestica dima. Putanja 1 na Slici 37 ilustrira ovaj način filtracije čestica dima.

**Filtracija inercijalnim sudarom** nastaje kada se čestice dima direktno sudare sa vlaknima filtera. Ovom mehanizmu filtracije pogoduje kako povećana masa tako i relativno veća brzina protoka čestice dima. Putanja 2 na Slici 37 ilustrira ovaj mehanizam filtracije.



Slika 37. Ilustracija mehanizma filtracije direktnim (1) i inercijalnim sudarom (2) (Wen i sar., 2015)

U tabeli 14 prikazana je efikasnost filtera (dužina 28 mm) od acetatne celuloze (3,0 y 32.000) u zadržavanju nekih komponenata glavne struje dima cigareta, prema ISO režimu pušenja.

**Tabela 14.** Efekat filtracije acetatnog filtera nekih komponenta glavne struje dima cigareta (*Jianhui i sar., 2014*)

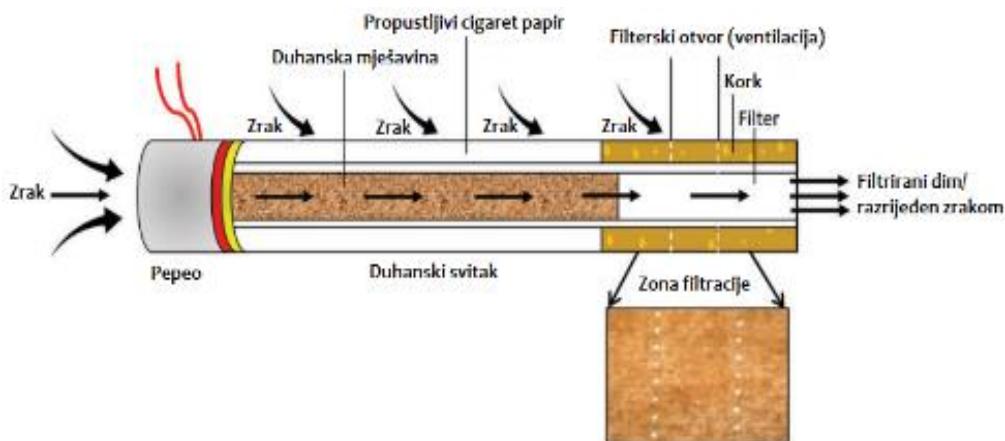
Značenje	Nikotin (mg/cig)	Fenoli ( $\mu\text{g}/\text{cig}$ )	B[a]P (ng/cig)	HCN ( $\mu\text{g}/\text{cig}$ )	NNK ( $\mu\text{g}/\text{cig}$ )
<b>Glavna struja dima</b>	1,17	7,71	9,72	93,8	4,19
<b>Retencija filtera</b>	0,75	51,5	6,49	29,5	1,76
<b>Ukupan sadržaj</b>	1,92	59,2	16,2	123,3	5,95
<b>Efekat filtracije(%)</b>	39,1	87,0	39,5	23,9	29,6

Prema podacima predstavljenim u Tabeli 14 uočava se da se učinkovitost filtriranja pojedinih komponenata glavne struje dima, prema ISO režimu pušenja, kreće u rasponu od 24% za HCN do 87% za fenol, što ukazuje da acetatno-celulozni filter pokazuje očitu selektivnost filtracije za fenole. Također, ima približno jednaku efikasnost u zadržavanju kako nikotina (39,1%), tako i B[a]P (39,5%).

Acetatno-celulozni filter ima veoma mali efekat u sposobnosti zadržavanja komponenti gasne faze glavne struje dima cigareta. Povećanje efikasnosti acetatno-celulognog filtera može se ostvariti ili povećanjem selektivne filtracije ili ventilacijom filtera.

**Ventilacija filtera** obezbjeđuje se kombinovanom upotreborom poroznog bijelog ovojnog filter papira (omotača filtera) i perforiranog korka, a kreće se od 10% (cigaretе sa punim okusom), do 80% (cigaretе sa niskom isporukom ukupne količine dima). Papir za kork se perforira radi povećanja

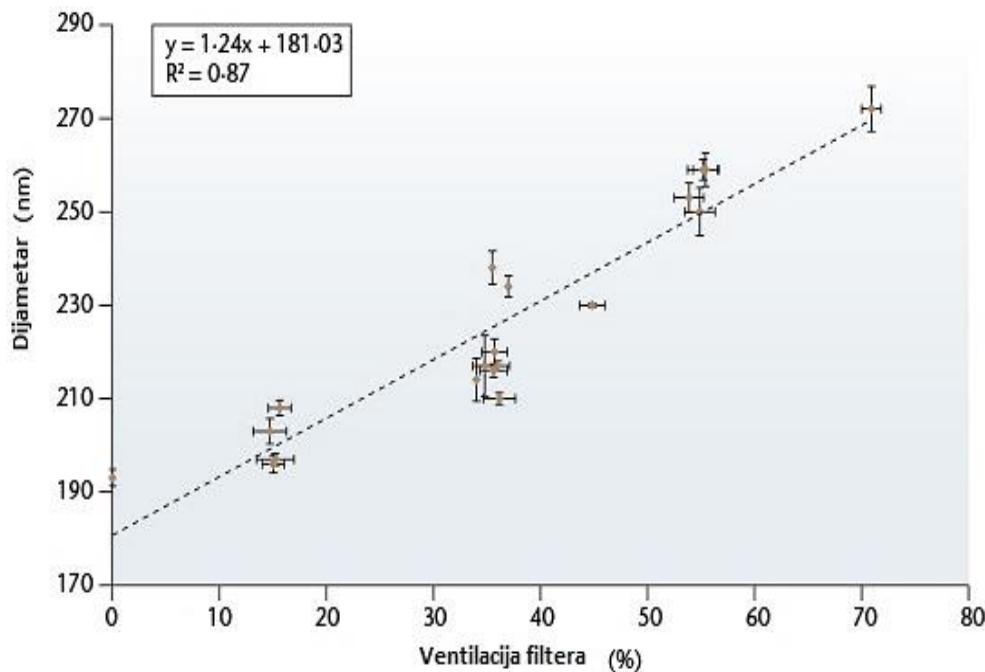
propustljivosti zraka koji ulazi u cigaretu tokom procesa povlačenja dima. Pravilo je da se, u ventiliranoj cigaretici (Slika 38), broj perforiranih otvora kreće od 20 do 40, čiji je promjer od 50-100 µm. Otvori manjeg prečnika omogućavaju bolju ventilaciju, nego otvori većeg prečnika. Položaj ventilacionih otvora (zonski ili linearne), kao i njihova raspodjela mogu uticati na ventiliranost filtera.



Slika 38. Ventilirana cigareta

Istraživanja ukazuju da se distribucija veličine čestica aerosola može skromno mijenjati sa nivoom ventilacije filtera. Sa povećanjem ventilacije filtera povećava se i veličina čestica u dimu zbog povećanoga sadržaja vode, kondenzacije i koagulacije, dok dim prolazi kroz duhanski štapić. Slika 39 pokazuje odnos između prečnika čestica aerosola i ventilacije filtera.

Ventilacija filtera utiče na uslove pirolize i razblaženje dima. U direktnoj korelaciji sa iznosom ventilacije dolazi do redukcije pojedinih komponenata čestične faze dima u većoj mjeri u odnosu na druge komponente (Slika 40). Rezultat povećane ventilacije filtera je i sporije sagorijevanje cigarete, a time i duže vrijeme zadržavanja dima, čime se omogućava česticama da apsorbiraju više vode i gasnih konstituenata dima.



**Slika 39.** Odnos između prečnika/dijametra čestica aerosola i ventilacije filtera (Liu et al., 2005)

**Selektivna filtracija** je mjera sposobnosti filtera za uklanjanje toksičnih komponenti iz struje dima. Za mjerjenje selektivnosti predloženi su različiti indeksi, koji uglavnom koriste razlike u zadržavanju ili omjere između odabrane komponente i referentnog materijala za kojeg se prepostavlja da se selektivno ne može ukloniti.

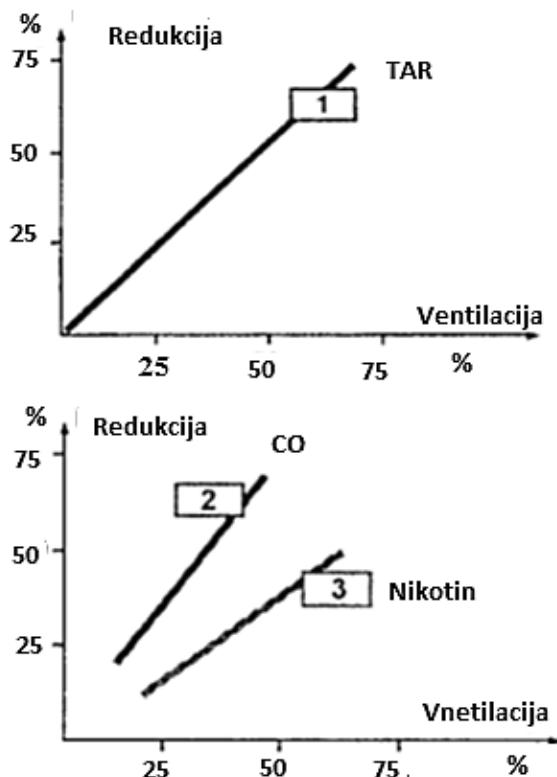
Zbog velikog interesovanja i dobijenih obećavajućih rezultata, posljednjih nekoliko godina provode se istraživanja na temu smanjenja toksičnih supstanci cigaretног dima, selektivnom filtracijom, upotrebom posebnih, sitnozrnastih ili praškastih aditiva/adsorbenta (zeoliti, aktivni ugalj i dr.).

Uključivanje adsorbensa u cigaret filter ima za cilj selektivno uklanjanje spojeva (isparljivi aldehidi, benzen, hidrogen cijanid, formaldehid i sl.), koji

se razdjeljuju u gasnu fazu dima/aerosola. Dodavanje ovih materijala u filtere može se izvršiti na razne načine:

- raspoređivanjem praha ili granula između vlakana filtera,
- dodavanjem posebnog segmenta filteru,
- nanošenjem materijala na ovoj filteru.

Jedna od još nedovoljno ispitanih mogućnosti je primjena zeolita u izmjeni sastava duhanskog dima i to kao adsorpcionih sredstava u filterima, ili kao katalizatora u procesima pirolize, kada se dodaju direktno u duhansku mješavinu.



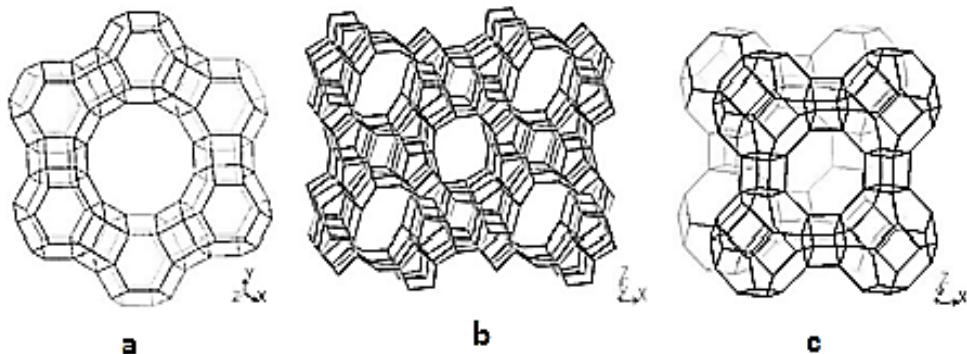
Slika 40. Utjecaj ventilacije filtera na redukciju TAR-a, CO i nikotina

### 9. 3. 2. Filteri sa zeolitima

Zeoliti su prirodni ili sintetički trodimenzionalni, kristalni alumosilikati, mikroporozne strukture sa kiselim ili baznim mjestima na površini i energetskim poljem unutar pora. Tehnički važni zeoliti su većinom sintetički (zeolit A, zeolit X, zeolit Y i dr.). Pripremaju se u obliku natrijumovih soli, pa nose oznaku NaX, NaA, NaY itd. Sintetički zeoliti se proizvode hidrogenim postupkom ili sintezom iz kaolina.

Aktivne forme zeolita se dobijaju iz oblika silika-zeolita, ukoliko neki Si $4+$  jon bude zamijenjen trovalentnim metalnim kationom, najčešće Al $3+$  jonom. Aktivni centri u zeolitima mogu biti Luisovg ili Brenstedovog tipa. Njihov broj zavisiće od katijonskog oblika zeolita, tipa i strukture zeolita i načina njegove prethodne aktivacije.

Kanali zeolita su mikroskopski mali. Oni su molekulskih dimenzija, tako da se često nazivaju „molekulska sita“. Veličina i oblik kanala imaju odlične efekte na svojstvo ovih materijala za adsorpciju, i to svojstvo im omogućava upotrebu u separacionim procesima. U zavisnosti od broja kanala mogu biti definisani kao ultra veliki (>12-), veliki (12-), srednji (10-) ili mali (8-člani prstenovi) porozni materijali. Dijametar kanala se kreće od 5 – 20 Å (ZSM-5 = 10 Å, Y = 12 Å). Sistem kanala ovih molekulskih sita formira veoma veliku unutrašnju površinu i zapreminu pora (Slika 41), u kojima mogu biti adsorbovane velike količine reaktanata. Stoga, zeoliti imaju mogućnost da adsorbuju isparljive toksične supstance glavne struje dima cigareta, a njihov adsorpcijski kapacitet upravo ovisi o strukturi pora i površinske kiselosti.

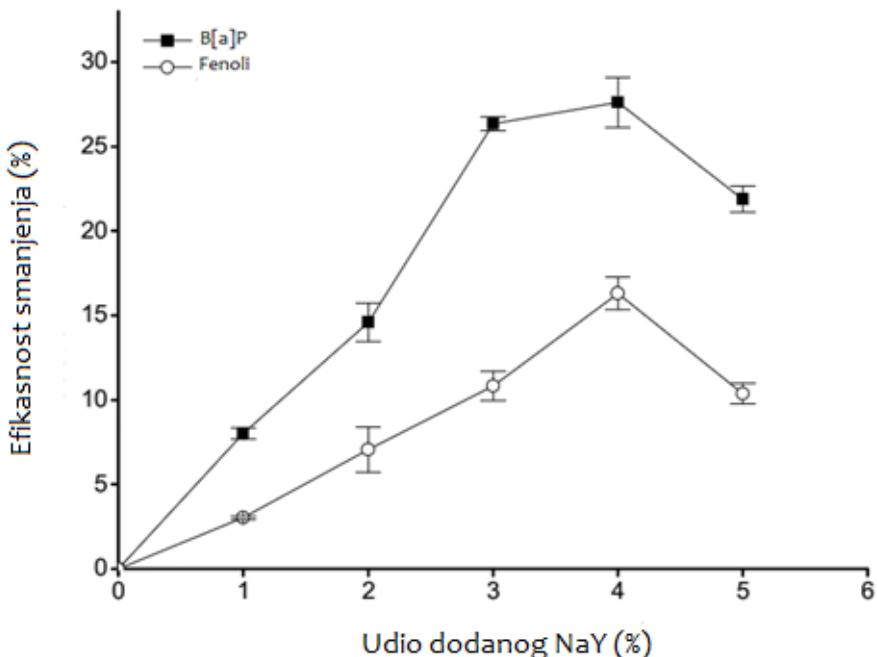


**Slika 41.** Struktura pora zeolita Y - velike mikropore (a); zeolit ZSM-5 srednja veličina mikropora (b); zeolit A - mala struktura mikropora (c).

Rezultati sprovedenih istraživanja pokazuju da inkorporiranje selektivnih adsorbenasa, kao što su zeoliti NaY i ZSM-5, direktno u filter pogoduje uklanjanju specifičnih nitrozamina duhana.

Kada se u filter doda 10mg NaY zeolita (4% mase rezanog duhana) oslobađanje B[a]P i fenola u glavnu struju dima smanjuje se za 6,8%, odnosno 2,3%. Količina NaY zeolita od 30mg (Slika 42) smanjuje isporuku B[a]P i fenola za 15%, odnosno za 6,2%.

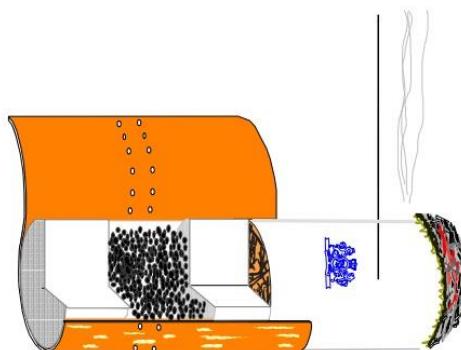
Dodavanje katalizatora Cu-ZSM-5 u filter cigareta, najefikasnije je sredstvo za uklanjanje NO iz glavne struje dima.



Slika 42. Efikasnost NaY zeolita za uklanjanje B[a]P i fenola u glavnoj struji dima cigarete (Lü i sar., 2015)

### 9. 3. 3. Filteri sa aktivnim ugljem

Aktivni ugljeni (ACs) su učinkoviti adsorbensi, za mnoge isparljive toksične sastojke dima sa tačkama ključanja iznad, otprilike – 30°C, tako da njihovo korištenje u cigaret filteru (Slika 43) nije novo. Stoga, brojna naučna istraživanja su bila usmjerena na ispitivanje karakterizacije ovih materijala, te njihovoj efikasnosti u smanjenju sadržaja toksičnih supstanci u dimu cigarete.



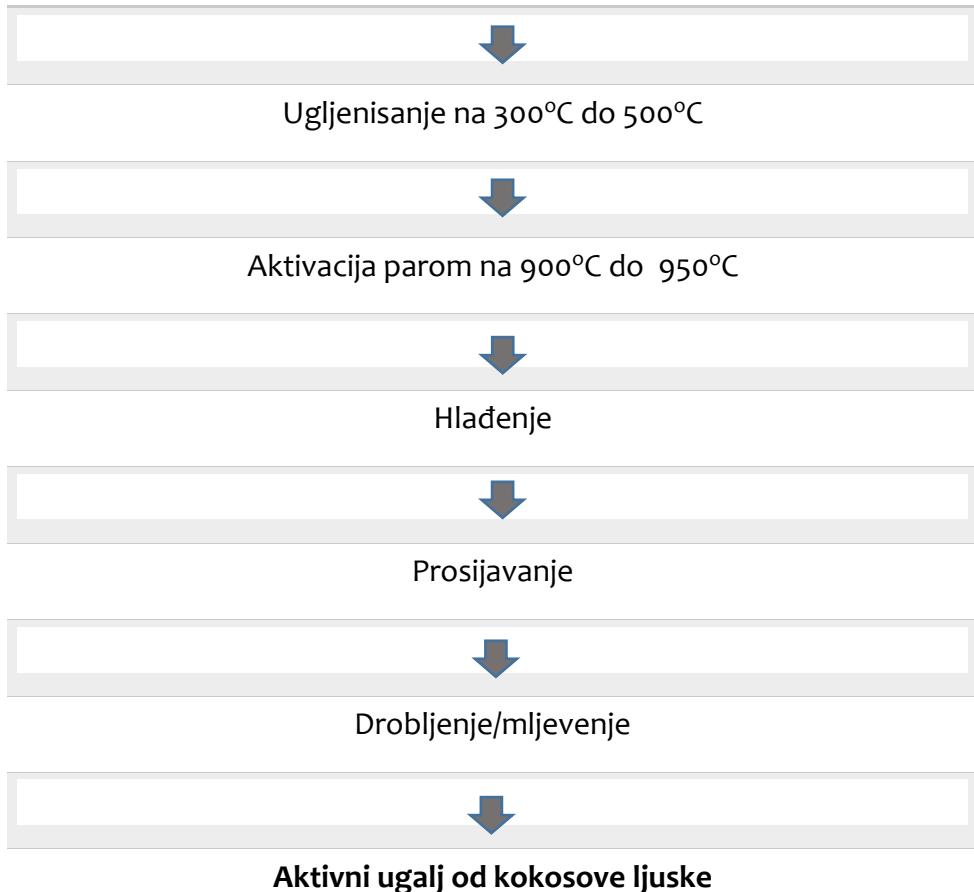
Slika 43. Filter sa aktivnim ugljem

S obzirom da je masa aktivnog uglja, koji se može inkorporirati u cigaret filter, mala (nekoliko desetaka mg), te da je vrijeme kontakta sa strujanjem dima kratko (nekoliko milisekundi), potrebna su vrlo specifična svojstva aktivnog uglja, ukoliko se želi postići efektivno uklanjanje toksičnih materija.

Općenito, adsorpciju organskih para aktivnim ugljenom je relativno lako zadovoljiti, jer aktivni ugalj ima značajan volumen mikropora (Tabela 15) koje, zbog poboljšane mogućnosti adsorpcije, prilično jednostavno adsorbuju gasne vrste. Međutim, brzina difuzije u mikropore može biti spora, a za mnoge dinamične primjene potrebno je da aktivni ugalj ima dodatno šire pore, kako bi se postigla realna količina adsorpcije u zadanom vremenu kontakta.

Za upotrebu u filterima za cigarete, aktivni ugalj bi trebalo posjedovati idealno dovoljnu mikroporoznost, kao i količinu širih transportnih pora ( $>2$  nm) koje omogućavaju učinkovitiju adsorpciju isparljivih materija koje nastaju tokom procesa pušenja cigarete. Materijal koji se koristi za dobijanje aktivnog ugljena određuje veličinu pora. Aktivni ugalj, dobijen od kokosove ljske (Slika 44), zbog svoje visoke čistoće i odličnih adsorpcijskih svojstava, danas se koristi u mnogim filterima komercijalnih cigareta. Ovaj tip aktivnog uglja proizvodi se od karbonizovane/ugljenisane kokosove ljske, na visokoj temperaturi i pod visokim pritiskom.

### Kokosova lјuska



**Slika 44.** Proizvodnja aktivnog uglja od kokosove lјuske

S obzirom da je unutrašnja struktura pora veoma važna za određivanje sposobnosti adsorpcije, neke tipične vrijednosti za kokosov ugalj date su u Tabeli 15.

**Tabela 15.** Svojstva aktivnog uglja od kokosove ljske (Taylor, 2014)

Svojstvo	Standard	Visoka aktivnost
Površina m <sup>2</sup> /g	1100	1600
Gustoća g/ml	0,57	0,42
Volumen makropora %	22,5	18,6
Volumen mezopora %	16,8	18,3
Volumen makropora %	60,7	63,1

Filter sa aktivnim ugljem, od kokosove ljske, veoma je učinkovit u zadržavanju poluisparljivih i gasnih komponenata dima (acetaldehid, aceton, akrolein i dr.). Također, obezbjeđuje i redukciju nekih neisparljivih komponenata dima. Međutim, produkcija nikotina, TAR-a i CO nije značajno niža (Tabela 16) u dimu cigareta čiji filter segment sadrži aktivni ugalj, u odnosu na dim cigareta koje u svom sastavu imaju samo acetatno-celulozni filter.

Efikasnost filtera sa aktivnim ugljem, u zadržavanju gasnih komponenata dima uveliko je ovisna od:

- tačke isparavanja takvih dimnih komponenata,
- aktivnosti ugljena,
- prečniku filtera i
- režima pušenja koji se koristi.

Efikasnost ovih filtera na redukciju gasnih komponenata dima male molekulske mase, može se povećavati premazivanjem aktivnog ugljena mješavinom metalnih oksida.

**Tabela 16.** Komponente glavne struje dima kontrolne i cigarete čiji je filter segment obima 24,6 mm sadržavao 60 mg aktivnog ugljja od kokosove ljske (Branton i sar., 2011)

Svojstvo	Kontrola		Filter sa aktivnim ugljem	
	Sadržaj po cigareti	Sadržaj po cigareti	Uklonjen iznos	Uklonjen postotak (%)
Broj povlačenja	7,1	6,8		
TAR (mg)	11,8	10,3		
Nikotin (mg)	0,94	0,85		
Voda (mg)	3,1	2,3		
CO (mg)	11,4	11,5		
Acetaldehid (µg)	584	384	200	34
Aceton (µg)	281	155	126	45
Akrolein (µg)	78,4	39	39,4	50
Butilaldehid (µg)	38,9	20,5	18,4	47
Formaldehid (µg)	59,3	35,5	23,8	40
Propionaldehid (µg)	49,4	27,3	22,1	45
HCN (µg)	118,6	66,1	52,5	44
Benzen (µg)	32	18,2	13,8	43
Izopren (µg)	199	117	82	41

Otkrića novih oblika ugljena, poput ugljenih nanocijevi (CNT), povećala su interes naučne zajednice u dalnjem istraživanju ovog područja, jer ti materijali imaju selektivnu osjetljivost za različite spojeve, te stoga imaju veliki potencijal da se koriste za smanjenje štetnih komponenata u dimu cigareta. Neka istraživanja su potvrdila (Tabela 17) da se upotreboom oksidovanih ugljenih nanocijevi O-CNTa, kao aditiva u filterima za cigarete, može povećati adsorpcija i nikotina i TAR-a.

**Tabela 17.** Efikasnost različitih filtera na uklanjanje nikotina i TAR-a u glavnoj struji dima (Chen i sar., 2006)

Adsorbent	$M_o$ (mg/cig)	$M_{\text{nikotin}}$ (mg/cig)	$\eta_{\text{nikoti}}_n$	$\gamma_{\text{nikotin}}$ (g/g)	$M_{\text{TAR}}$ (mg/cig)	$\eta_{\text{TAR}}$ (%)	$\gamma_{\text{TAR}}$ (g/g)
Kontrola	0	1,1			16,0		
Zeolit (NaY)	50,5	1,01	8,2	0,0018	9,4	41,3	0,131
AC	50,5	0,72	34,5	0,0075	6,3	60,6	0,192
O-CNTs	50,5	0,54	50,9	0,0111	3,0	81,3	0,257

$M_o$  - masa adsorbenta;  $M_{\text{nikotin}}$  i  $M_{\text{TAR}}$  - masa nikotina i TAR-a u MS nakon adsorpcije adsorbentom;  $\eta_{\text{nikotin}}$  i  $\eta_{\text{TAR}}$  - efikasnost u uklanjanju nikotina i TAR-a adsorbentom;  $\eta_{\text{nikotin}} = (1,1 - M_{\text{nikotin}})/1,10 \times 100\%$ ;  $\eta_{\text{TAR}} = (16,0 - M_{\text{TAR}})/16,0 \times 100\%$ ;  $\gamma_{\text{nikotin}}$  i  $\gamma_{\text{TAR}}$  - uklonjena masa nikotina i TAR-a/ jedinicu mase adsorbenta;  $\gamma_{\text{nikotin}} = (1,1 - M_{\text{nikotin}})/M_o$ ,  $\gamma_{\text{TAR}} = (16,0 - M_{\text{TAR}})/M_o$ .

Rezultati pokazuju da oko 20-30 mg O-CNT po cigaretama može učinkovito ukloniti većinu nikotina i katrana. Međutim, tradicionalni pristup komercijalnoj proizvodnji CNT-ova sugerira da su daleko skuplji u poređenju sa proizvodnjom AC-a, što dovodi do povećanja cijene cigarete i stoga se ne mogu koristiti u duhanskoj industriji.

Nedavno, demonstrirana je jednostavnija i lakša metoda sinteze CNT-ova u kojoj su kroz katalitičku pirolizu, kao izvor ugljika korišteni poliolefini. U ovom procesu, prvo se formira mješavina ugljenih nanocijevi (CNTM) koja ima relativno veću površinu i strukturu šupljine (mezoporozne i mikroporozne nanostrukture), čineći ih obećavajućim kandidatima za uklanjanje toksičnih sastojaka iz dima cigarete (Tabela 18).

**Tabela 18.** Upoređivanje sadržaja štetnih sastojaka glavne struje dima cigarete sa acetatno celuloznim filterom (ACF) i cigareta čiji je filter sadržavao AC, CNTs i CNTM (Zhou i sar., 2014)

Opis filtera	ACF	AC	CNTs	CNTM
	$\bar{X} \pm SD$	$\bar{X} \pm SD$	$\bar{X} \pm SD$	$\bar{X} \pm SD$
Broj povlačenja	6,70±0,20	6,73±0,20	6,65±0,30	6,68±0,30
Otpor na uvlačenje (mmHS)	389,2±6,25	465,5±9,08	495,2±9,43	489,5±8,77
TAR (mg/cig)	11,55±0,20	9,90±0,13	8,90±0,10	8,58±0,10
Nikotin (mg/cig)	1,08±0,07	0,97±0,07	0,80±0,07	0,82±0,08
Benzo[a]piren (ng/cig)	12,50±0,56	11,20±0,87	7,50±0,72	8,10±0,62
Fenol ( $\mu\text{g}/\text{cig}$ )	15,50±1,14	15,00±1,01	9,50±0,30	10,0±1,01
Hidrohinon ( $\mu\text{g}/\text{cig}$ )	59,92±4,28	52,96±3,42	42,35±3,17	45,85±4,03
Katehol ( $\mu\text{g}/\text{cig}$ )	66,71±3,92	60,92±4,16	48,31±3,02	52,48±4,11
o-Krezol ( $\mu\text{g}/\text{cig}$ )	14,96±0,83	14,50±1,21	6,77±0,49	9,99±0,74
m,p-Krezol ( $\mu\text{g}/\text{cig}$ )	6,63±0,34	5,81±0,46	3,65±0,24	4,24±0,32

Nakon uvođenja 15 mg CNTM-a u filter za cigarete, neki od najvažnijih štetnih spojeva, uključujući TAR, nikotin, benzo[a]piren i fenolna jedinjenja

bili su efikasnije adsorbovani u poređenju sa upotrebom komercijalnog aktivnog ugljena, što se može povezati sa relativno većom zapreminom pora i geometrijskim zatvaranjem CNT-a u CNMT-u za neka toksična jedinjenja u glavnoj struji dima cigareta. Konkretno, CNT-ovi imaju jak hemisorpcioni kapacitet za benzo[a]piren ili fenolna jedinjenja zbog p-p interakcije između benzenskih prstenova.

Međutim, prema dosadašnjim saznanjima, CNTM, kao dodatak cigaretnom filteru, još uvijek nije korišten za uklanjanje štetnih sastojaka dima cigarete.



#### 9. 4. UTJECAJ TIPOA I KOLIČINE DUHANA I DUHANSKIH PRERAĐEVINA NA PRODUKCIJU GLAVNE STRUJE DIMA

*S*obzirom da se mješavina za blend cigaretu sastoji od 70% duhana, 25 do 30% prerađenih duhana i 0,5% raznih aditiva, količina i osobine formiranog dima dominantno će ovisiti od osobina, zastupljenosti pojedinih duhana i duhanskih prerađevina u mješavini, kao i od korištenih aditiva.

Kod cigareta (Tabela 19) (sve cigarete imaju isti denzitet pakovanja što omogućava poređenje) izrađenih samo od jednog tipa duhana ne postoji usklađen odnos u hemijskom sastavu blenda (Tabela 20).

**Tabela 19.** Sastav mješavine u cigaretama

Cigaretе	Sastav mješavine
SC	100% Orijentalni duhan
AC	100% Berlej
FC	100% Virdžinija
RT	100% Rekonstituisani duhan
B <sub>1</sub> Američki blend:	10% Orijentalni duhan 30% Berlej 60% Virdžinija
B <sub>2</sub> Američki blend:	5% Orijentalni duhani 25% Berlej 45% Virdžinija 10% Rekonstituisani duhan 15% Ekspandovani nerv
B <sub>3</sub> Američki blend:	5% Orijentalni duhan 25% Berlej 30% Virdžinija 10% Rekonstituisani duhan 30% Ekspandovani nerv

**Tabela 20.** Hemski sastav cigareta i ekspandovanog nerv  
(Đulančić i sar., 2017)

Cigaret	Sadržaj komponenata u mješavinama cigareta (%)				
	Nikotin	Proteini	Ukupan azot	Redukujući šećeri	Pepeo
SC	1.7	7.2	2,6	10,7	17.1
AC	2.4	9.1	3,7	1.2	20.5
FC	1.9	6.0	2,1	16,6	16.9
RT	0.8	6,0	2,0	5.7	18.5
B <sub>1</sub>	2.1	7.4	2,9	11.3	18.3
B <sub>2</sub>	1.7	6.7	1,9	11.4	18.8
B <sub>3</sub>	1.5	6.1	26	10,9	18.5
Ekspandovani nerv	0.53	4.11	1,90	13.84	24.32

Također, u pogledu fizičkih karakteristika, ove se cigarete, prije svega, razlikuju po masi duhana u svitku, što za posljedicu ima i različit broj povlačenja dima po cigaretu (Tabela 21). Cigaret od AC duhana najbolje sagorijeva (broj povlačenja 7,6), dok cigarette izrađena od FC duhana gori nešto sporije (broj povlačenja 11,3). Orijentalne (SC) cigarette gore veoma sporo (broj povlačenja 12,1).

Posljedica ukupnih razlika u fizičko-hemiskim karakteristikama pojedinih tipova duhana, kao i njihove količine u blendu, je različita produkcija TPM-a, nikotina i TAR-a u čestičnoj fazi glavne struje dima (Tabela 22).

Kod cigarette, izrađenih samo od pojedinačnih duhana, najmanja prosječna koncentracija TAR-a, registrovana je u dimu AC cigarette. Stoga, učešće 30% berleja u mješavini blendu B<sub>1</sub> doprinjelo je formiranju manje količine TAR-a u odnosu na zastupljenost virdžinije od 60%, ali je ova količina formirala više

tara prema orijentalnim duhanima, čija je zastupljenost bila 10%. SC duhani formiraju signifikatno najveću koncentraciju TPM-a i TAR-a.

**Tabela 21.** Fizičke karakteristike cigareta (Đulančić i sar., 2017)

Cigaret	Masa (g/cig.)	Broj povlačenja/cig	Otpor na uvlačenje (mmH <sub>2</sub> O)
SC	1.207	12,1	120,3
AC	0.961	7,6	114,4
FC	1.098	11,3	118,7
RT	0.878	5,4	96,7
B <sub>1</sub>	1,399	8,2	103,4
B <sub>2</sub>	0.871	7,6	96,7
B <sub>3</sub>	0.917	7,4	106,4

**Tabela 22.** Utjecaj tipa i količine duhana na produkciju konstituenata čestične faze glavne struje dima cigareta (Đulančić i sar., 2017)

Cigaret	TPM $\bar{x}$	Nikotin $\bar{x}$	TAR $\bar{x}$
SC	22,6	1,13	18,48
AC	17,8	1,33	14,15
FC	19,4	1,26	15,63
RT	8,8	0,26	7,33
B <sub>1</sub>	19,0	1,21	15,27
B <sub>2</sub>	15,5	0,81	12,75
B <sub>3</sub>	14,2	0,69±	11,81

Smanjenje količine orijentalnog duhana sa 10 na 5%, berleja sa 30 na 25% i virdžinije sa 60 na 45%, signifikatno je uticalo na smanjenje prosječne koncentracije TAR-a u dimu blenda B<sub>2</sub>. Međutim, najveći utjecaj na smanjenje sadržaja TAR-a imalo je učešće 10% rekonstituisanog duhana, za koga je utvrđeno da u dimu formira najniži sadržaj TAR-a. Dodavanje ekspandiranog nerva u mješavinu duhana, također, ima značajan utjecaj na smanjenje produkcije TPM-a, TAR-a i nikotina u glavnoj struji dima cigareta. Poznato je da ove dvije sirovine na bazi duhana, brže izgaraju u odnosu na originalni prirodni materijal. Kako se sagorljivost cigarete povećava, smanjuje se broj povlačenja i na taj način smanjuje sadržaj TAR-a u glavnoj struji dima cigarete.

Dosadašnja istraživanja pokazala su da su prosječne koncentracije pojedinačnih PAH-ova u dimu cigareta u ovisnosti od sastava blenda prilično varijabilne. Utjecaj tipa duhana i duhanskih prerađevina, kao i njihova procentualna zastupljenost u blendu, na produkciju nekih policikličnih aromatskih ugljikovodika (PAH-ova) u čestičnoj fazi glavne struje dima, prikazan je u Tabeli 23.

Najveći doprinos u formirajući sadržaja benzo[a]pirena, benzo[b]fluorantena, benzo[k]fluorantena, fluorena, pirena i krizena ispoljavaju SC duhani. Stoga, SC cigarete emituju u dim i najveću količinu ukupnih PAH-ova. Cigarete izrađene od virdžinije emituju u dim veću količinu policikličnih aromatskih ugljikovodika (PAH-ova) od berlej duhana. Doprinos FC duhana većoj produkciji PAH-ova je njihov visok nivo nisko polarnih spojeva, kao što su terpenoidi, alifatski ugljikovodici, pigmenti, steroli, masne kiseline. S druge strane, veći sadržaj nitrata u berlejskim duhanima inhibira tvorbu PAH-ova. Najmanja količina ukupnih PAH-ova je u dimu RT cigarete.

**Tabela 23.** Sadržaj pojedinačnih i ukupnih PAH-ova u ovisnosti od tipa i količine duhana i duhanskih prerađevina u blendu  
(Đulančić i sar., 2017)

PAH	SC	AC	FC	RT	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>
	$\bar{x}$	$\bar{x}$	$\bar{x}$	$\bar{x}$	$\bar{x}$	$\bar{x}$	$\bar{x}$
B[a]P	24.03	11.73	20.10	9.23	17.80	13.37	12.17
B(a)A	44.17	19.71	56.42	11.70	32.93	29.85	26.65
D(a,h)A	6.20	3.40	7.20	1.00	4.40	1.83	1.43
B(b)F	16.63	11.90	14.23	8.30	13.10	11.70	11.23
B(k)F	2.33	1.13	1.93	1.73	1.67	2.07	1.63
Flu	459.47	248.33	339.27	124.8	263.6	228.97	202.83
Pyr	221.7	94.87	209.0	65.5	151.8	120.57	96.3
Chry	79.43	25.7	40.27	17.5	34.87	25.6±	23.7
UKUPNI PAH-ovi	853.96	416.78	688.42	239.78	520.16	433.95	374,95

Ekspandovani nerv je bogat u pogledu sadržaja nitrata koji inhibiraju pirosintezu PAH-ova. Sa povećanjem količine RT i ekspandovanog nerva dolazi do značajnih promjena u hemijskom sastavu mješavine, smanjenja prosječne mase cigarete i broja povlačenja/cigareti, što za rezultat ima značajno smanjenje, kako ukupne produkcije dima, tako i PAH-ova. Prema tome, produkcija PAH-ova u glavnoj struji dima cigareta, značajno je ovisna od hemijskog sastava mješavine, fizičkih karakteristika cigarete (Tabela 24), kao i od prosječne koncentracije kako TPM-a, tako i TAR-a i nikotina (Tabela 25).

**Tabela 24.** Personov koeficijent korelacije između sadržaja PAH-ova u dimu i hemijskog sastava blend-a (Đulančić i sar., 2017)

Hemijska i fizička svojstva cigareta	B[a]P	B(a)A	D(a,h)A	B(b)F	B(k)F	Flu	Pyr	Chry	Ukupni PAH
Nikotin (%)	.293	.316	.446*	.468*	-.291	.400	.309	.160	.355
Proteini (%)	.004	-.201	.116	.202	-.426	.189	-.055	.099	.081
Proteinski azot (%)	-.003	-.203	.093	.204	-.415	.187	-.065	.091	.075
Ukupni azot (%)	-.004	-.191	.137	.180	-.552**	.158	-.080	.079	.079
Redokujući šećeri (%)	.590**	.800**	.478*	.449*	.544*	.407	.669**	.329	.525*
Pepeo (%)	-.720**	-.728**	-.583**	-.521*	-.651**	-.557**	-.743**	-.607**	-.653**
Otpor na uvlačenje H <sub>2</sub> O	.686**	.656**	.792**	.742**	.083	.812**	.713**	.697**	.783**
Masa g	.636**	.459*	.625**	.549*	.190	.516*	.590**	.510*	.555**
Broj povlačenja	.928**	.904**	.873**	.900**	.455*	.953**	.967**	.866**	.975**

\* Korelacija je signifikantna na nivou od 0,05

\*\* Korelacija je signifikantna na nivou od 0,01

Rezultati istraživanja su pokazali da tip duhana (SC, AC i FC) i rekonstituisani duhan (Tabela 26) imaju značajan utjecaj i na količinu CO, formiranog u gasnoj fazi glavne struje dima cigareta.

**Table 25.** Personov koeficijent korelacije između sadržaja PAH-ova Komponenata čestične faze glavne struje dima cigareta (Đulančić i sar., 2017)

PAH-ovi	TPM	Nikotin	TAR
B[a]P	.860 **	.600 **	.873 **
B(a)A	.750 **	.601 **	.760 **
D(a,h)A	.815 **	.736 **	.807 **
B(b)F	.910 **	.696 **	.921 **
B(k)F	.249	-.094	.283
Flu	.916 **	.674 **	.928 **
Pyr	.856 **	.629 **	.867 **
Chry	.792 **	.457 *	.814 **
Ukupni PAH-ovi	.902 **	.655 **	.916 **

\* Korelacija je signifikantna na nivou od 0,05

Pušenje i piroliza pojedinačnih duhana, pokazali su da je isporuka katehola, hidrokinona i 1,3-butadiena manji u dimu berlej duhana. Cigarete od čistog berleja emituju u dim značajno nižu količinu formaldehida u poređenju sa cigaretama izrađenim od flue-cured duhana. Ovo odstupanje, koje je veće u odnosu na druge aldehyde, proizilazi iz razlike u količini šećera u ova dva tipa duhana. Također, cigarette izrađene od čistog duhana tipa berlej emituju u dim značajno manje akroleina u odnosu na cigarette načinjenje od orijentalnih i flue-cured duhana. Viši nivo nitrata u duhanu berlej doprinosi produkciji nižih vrijednosti dihidroksibenzena u glavnoj struji dima. Prema tome, dodavanje duhana berlej u mješavinu za cigarette imaće za posljedicu smanjenje produkcije gore navedenih komponenata u dimu. S druge

strane, duhan tipa berlej formira značajno veću količinu amonijaka u dimu u odnosu na virdžiniju. Razlog je što se količina amonijaka rapidno povećava u toku procesa sušenja ovog duhana. Amonijak ima veliki utjecaj na pH dima, tako da je dim više alkalan

**Tabela 26.** Sadržaj CO u glavnoj struci dima eksperimentalnih cigareta  
(Đulančić i sar., 2013)

Cigaretta	Sadržaj CO u dimu cigareta/mg	
	$\bar{x}$	± SD
SC	13,16	± 0,173
AC	15,01	± 0,169
FC	14,58	± 0,135
RT	14,91	± 0,338

Koncentracija TSNA u dimu cigareta značajno je pod utjecajem upotrebe ekspandovanog lisnog nerva u blendu, u čijem sastavu je zastupljena visoka koncentracija ovih nitrozamina. Orijentalni duhani sadrže najniže koncentracije TSNA, za razliku od berlej duhana kod kojih su zastupljene najveće koncentracije ovih nitrozamina. Dakle, koncentracija nitrozamina, u listovima duhana i ekspandovanom nervu, glavna je odrednica nivoa nitrozamina u dimu cigareta.

## 9. 5. UTJECAJ ZEOLITA/KATALIZATORA NA PRODUKCIJU GLAVNE STRUJE DIMA

Najnoviji, još uvek nedovoljno istražen pristup modifikaciji duhanskog dima je dodavanje različitih katalizatora direktno u duhansku mješavinu. Međutim, bez obzira na rezultate ovakvih istraživanja, koji ukazuju na mogućnost smanjenja većine štetnih komponenata dima, neophodno je utvrditi kako ovakav način apliciranja utiče na osnovna fizička svojstva cigareta. Najveći broj istraživanja, usmjeren ka smanjenju štetnih jedinjenja dima cigareta, odnosi se na pokušaj dodavanja nekih zeolita direktno u mješavnu blend cigareta.

Posljedice utjecaja dva mikroporozna zeolita sa sličnom struktukom pora, ali različitom kiselosću (HUSY i NaY), kao i jednog sintetičkog mezoporoznog aluminosilikata (Al-MCM-41), dodatih direktno u mješavinu 10 komercijalnih marki cigareta, na sastav dobijenog dima prema ISO uslovima, prikazane su u Tabeli 27.

NaY je zeolit koji prikazuje najslabiji efekat. Kao daleko najbolji katalizator, koji obezbjeđuje najveće smanjenje prinosa za većinu komponenata dima analiziranih marki cigareta, pokazao se Al-MCM-41. Općenito, veličina pora, kiselost i stepen disperzije ovog katalizatora imaju važnu ulogu u smanjenju količine jedinjenja u dimu duhana. Sadržaj nikotina u glavnoj struji dima smanjio se u prosjeku za 34,4%. CO je smanjen u prosjeku za 18,6% (u rasponu od 10,3 do 35,2 u ovisnosti od marke cigarete). Ovo istraživanje ukazuje da bi dodavanje ovih katalizatora direktno u mješavinu, pomoglo da se smanji sadržaj CO, nikotin i TAR-a. Sa smanjenjem sadržaja TAR-a smanjila bi se i količina štetnih sastojaka cigaretног dima.

**Tabela 27.** Utjecaj različitih zeolita na produkciju (mg/cigareti) TPM-a, nikotina i CO u glavnoj struji dima cigareta (Marsilla, 2015)

Cigarette*	MID <sup>a</sup>	CO	TPM	TPM (F+T) <sup>b</sup>	Nikotin	N (F+T) <sup>c</sup>	Pepeo
A	529,6	8,5	6,34	10,0	0,61	0,96	90,7
B	488,7	5,4	5,00	10,9	0,28	0,58	84,50
C	579,9	10,8	11,16	22,5	0,61	1,27	101,60
D	486,7	7,8	5,51	9,2	0,42	0,77	80,50
E	495,7	8,3	5,84	9,0	0,48	0,92	83,30
F	499,0	6,9	5,18	8,0	0,56	0,98	85,00
G	466,0	6,5	3,90	8,4	0,35	0,58	75,00
H	480,7	9,0	4,53	8,6	0,39	0,72	79,40
I	491,1	7,4	5,50	9,3	0,48	0,87	82,30
Proshek	502,4	7,6	5,70	10,3	0,46	0,84	84,22
Min.	465,8	5,0	3,90	6,8	0,28	0,58	75,00
Max.	579,9	10,8	11,60	22,5	0,61	1,27	101,6
A + HUSY	541,6	9,4	7,60	12,9	0,60	1,00	123,80
B + HUSY	455,8	6,2	5,18	10,4	0,31	0,58	107,30
C + HUSY	542,2	10,0	7,37	14,2	0,46	0,85	125,30
D + HUSY	506,6	8,1	5,55	9,2	0,39	0,74	111,30
E + HUSY	470,8	6,3	4,45	7,2	0,39	0,72	99,80
F + HUSY	469,6	7,2	4,10	6,8	0,41	0,74	94,20
G + HUSY	508,2	5,4	4,87	6,8	0,29	0,48	99,80
H + HUSY	415,7	9,4	3,76	8,2	0,31	0,58	86,80
I + HUSY	497,1	8,2	5,06	10,4	0,43	0,75	108,40
Proshek	486,9	7,7	5,18	9,3	0,39	0,70	105,28
Min.	415,7	5,4	3,76	6,8	0,29	0,48	86,81
Max.	542,2	10,0	7,60	14,2	0,60	1,00	125,26
A + NaY	565,8	10,4	4,10	12,0	0,64	1,13	128,30
B + NaY	473,6	7,4	5,92	11,1	0,42	0,80	109,70
C + NaY	526,8	7,9	6,24	12,8	0,39	0,80	110,80
D + NaY	476,7	8,2	5,76	9,9	0,48	0,85	108,60
E + NaY	500,5	8,5	5,44	10,9	0,50	0,94	108,10
F + NaY	482,4	7,1	4,90	8,6	0,48	0,86	99,80
G + NaY	471,3	4,9	5,74	8,8	0,34	0,53	101,90

## Glavni parametri dizajna cigarete koji utiču na produkciju dima

---

nastavak tabele

H + NaY	452,2	10,4	3,58	8,3	0,31	0,60	95,30
I + NaY	452,2	10,4	3,58	8,3	0,31	0,60	95,30
Prosjek	494,8	8,0	5,11	10,2	0,44	0,81	107,88
Min.	452,2	4,9	3,58	8,2	0,31	0,53	95,33
Max.	565,8	10,4	6,24	12,8	0,64	1,13	128,30
A + Al-MCM-41	487,4	7,2	5,81	8,9	0,19	0,38	108,90
B + Al-MCM-41	465,4	4,8	4,97	9,7	0,21	0,52	110,00
C + Al-MCM-41	487,4	7,0	6,96	16,0	0,37	0,88	129,00
D + Al-MCM-41	441,1	7,0	4,09	7,1	0,24	0,52	106,20
E + Al-MCM-41	507,6	7,2	5,31	8,2	0,40	0,75	114,70
F + Al-MCM-41	462,7	5,5	3,19	5,0	0,26	0,50	109,70
G + Al-MCM-41	446,7	4,1	3,91	5,3	0,25	0,42	97,50
H + Al-MCM-41	430,9	7,0	3,01	6,3	0,20	0,37	91,90
I + Al-MCM-41	460,1	6,0	4,53	7,9	0,26	0,55	98,0
Prosjek	465,5	6,1	4,49	8,0	0,26	0,53	106,02
Min.	430,9	4,1	3,01	5,0	0,19	0,37	91,94
Max.	507,6	7,2	6,96	16,0	0,40	0,88	129,00

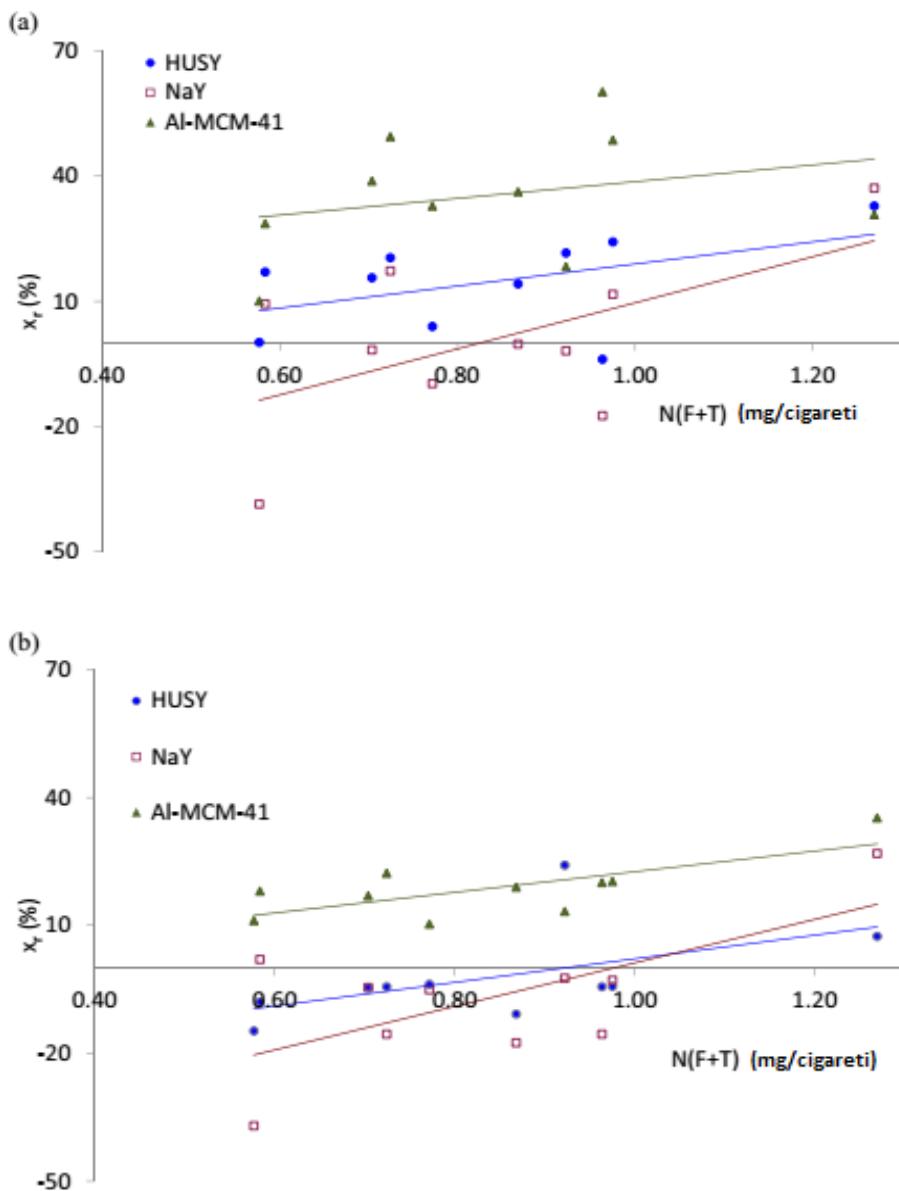
<sup>a</sup> MID – masa ispuštenog duhana; <sup>b</sup>TPM(F+T) – količina dimnog kondenzata zadržana u cigaret filteru plus kondenzat dima zadržan na Kembriđ filteru; <sup>c</sup> N(F+T) – količina nikotina zadržana u filteru plus nikotin u TPM-u

Jedini parametar koji pokazuje rastući trend, uvođenjem katalizatora direktno u duhansku mješavinu, je sadržaj pepela. Al-MCM-41 pokazuje najveće povećanje takvih čvrstih ostataka, u gotovo svim markama cigareta, a slijede ga NaY i HUSY.

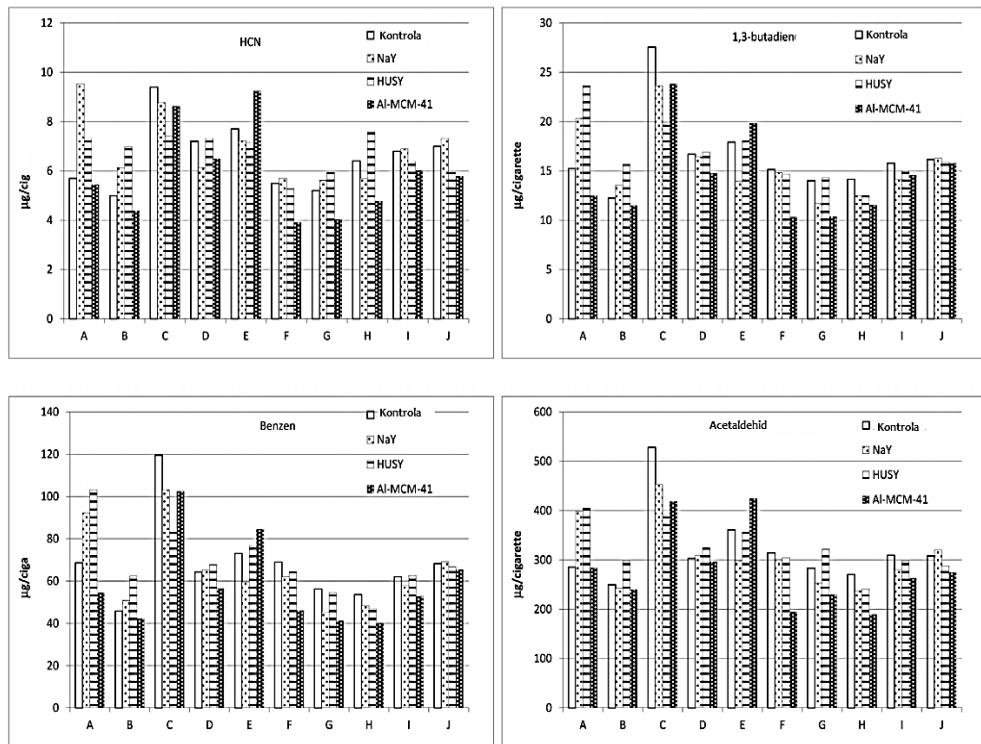
Slika 45 (a i b) prikazuje postotak redukcije u količini N (F + T) i CO za sve cigarete s tri katalizatora, kao i funkciju prinosa N (F+T) pri pušenju svake

cigarete bez katalizatora. Tri linije, pozitivnog nagiba, pokazuju pozitivnu korelaciju između veće sposobnosti, upotrebljenih katalizatora, u smanjenu prinosa nikotina i CO, kada mješavina produkuje veće količine nikotina (u opsegu koji su proučavani). Općenito, što su veći prinosi nikotina i TAR-a, dodatkom katalizatora, ostvaruje se i veća redukcija bilo kojeg konstituenta dima.

Jedinjenja koja se nalaze u čestičnoj fazi glavne struje dima cigareta eventualno mogu da se sukobljavaju sa širenjem površine katalizatora, i na taj način ostanu u njemu adsorbovana. Jedinjenja koja čine gasnu frakciju, ne bi se sudarila sa ovim materijalima na isti način, te smanjenje ovih komponenta dima bilo bi niže, uglavnom zbog manje mase ispuštenog duhana tokom procesa pušenja cigarete. Slika 46 pokazuje ostvarene ukupne prinose za HCN, 1,3 butadien, benzen, acetaldehid u gasnoj frakciji i za fenole i nikotin iz tekuće frakcije. Ovi spojevi su izabrani zbog svoje visoke toksičnosti.



**Slika 45.** Redukcije u sadržaju (a) N (F + T) i (b) CO u odnosu N (F + T)  
(Marsilla, 2015)



**Slika 46.** Sadržaj nekih odabralih komponenata gasne faze dima sa i bez dodatka katalizatora (Marsilla, 2015)

### 9. 5. 1. Redukcija PAH-ova u glavnoj struji dima zeolitima

Pokazalo se da, dodavanjem dva termostabilna zeolita (ZSM-5 i Y), direktno u duhansku mješavinu, u količini od 3%, dolazi do promjene vrijednosti temperatura pirolize kako u čestičnoj, tako i gasnoj fazi glavne struje dima. Dodavanje oba tipa zeolita dovelo je do smanjenja temperature čestične faze dima, a veći pad je primjećen kada se koristio pentasil tip zeolita (ZSM-5). Uvažavajući činjenicu da su reakcije koje vode smanjenju štetnih sastojaka duhanskog dima, kao što su prvenstveno

reakcije kataličkog krekinga, endotermne, može se zaključiti da dodavanje oba ova zeolita može uticati na smanjenje PAH-ova u cigaretnom dimu.

Istraživanja u kojima je, u duhanskoj mješavini, korišten CuZSM5 zeolit pokazala su da je prosječno smanjenje PAH-ova oko 40%, za razliku od zeolita Al-MCM-41 čiji je doprinos iznosio 22%.

#### 9. 5. 2. Redukcija nitrozamina u glavnoj struji dima zeolitima

Zeoliti, također, imaju sposobnost adsorpcije isparljivih nitrozamina iz glavne struje dima cigareta. Elektrostaticko polje unutar kanala i veličina pora zeolita, dva su najvažnija faktora koji upravljaju selektivnom adsorpcijom nitrozamina. Adsorpcijski kapacitet zeolita ovisi i od kiselosti njihove površine. Zahvaljujući tim posebnim faktorima, zeolit je u mogućnosti ne samo da selektivno adsorbuje isparljive nitrozamine, čiji je molekularni prečnik manji ili jednak veličini pora zeolita, nego da i hvata/degradira krupne nitrozamine poput N-nitrozamina, specifičnih za duhan, čiji prečnik prelazi veličinu kanala. Rezidualni ostaci nitrozamina u dimu cigareta ,nakon adsorpcije na zeolitu su veoma niski.

Kao najefikasniji adsorbensi u uklanjanju nitrozamina iz glavne struje dima cigareta, pokazali su se mikroporozni zeoliti NaY i HZSM-5. Zeolit NaZSM-5, sa veličinom pora od 0,5 nm, bolji je adsorbent od NaA zeolita, čija je veličina pora 0,4 nm. Kiseli zeolit HZSM-5 ne samo da adsorbuje više nitrozamina, nego njegov osnovni analog NaZSM-5, posjeduje i visoku aktivnost za razgradnju nitrozamina, bez upitanja kompetitivne adsorpcije ostalih komponenta dima. Da bi se, pri povišenim temperaturama, sprječila desorpcija nitrozamina iz zeolita koji sadrže natrij jon, kao što su NaY, NaZSM-5 i NaA, odnosno ojačala njihova sposobnost adsorpcije, kao modifikator, koristi se bakarni oksid. Na ovaj način se ukloni oko 70% nitrozamina u dimu cigarete.



## 10. LITERATURA

1. Adam, T., McAughey, J., McGrath, C., Mocker, C., Zimmermann, R., (2009): Simultaneous on-line size and chemical analysis of gas phase and particulate phase of cigarette mainstream smoke. *Anal. Bioanal. Chem.* 394, pp. 1193-1203.
2. Andreu, A., Stoeckli, H.F. and Bradley, R.H. (2007) *Carbon* 45, pp.18-54.
3. Ashley, M., Dixon, M., Prasad, K. (2014): Relationship between cigarette format and mouth-level exposure to TAR and nicotine in smokers of Russian king-size cigarettes. *Reg. Toxicol. Pharmacol.* 70, pp. 430-437.
4. Baker, R.R. (1973): A Review of Methods of Altering the Burning Characteristics of Cigarettes. BAT Report No. RD 1012-R. Available at: <http://industrydocuments.library.ucsf.edu/tobacco/docs/npdp0205> [Pristup: 09.04.16.].
5. Baker, R.R. (1981): Product formation mechanisms inside a burning cigarette. *Prog. Energ Combust. Sci.* 7, 135e153. Baker, R.R., 1987. A review of pyrolysis studies to unravel reaction steps in burning tobacco. *J. Anal. Appl. Pyrol* 11, pp. 555-573.
6. Baker, R.R. (1983a): Formation of carbon oxides during tobacco combustion. Pyrolysis studies in the presence of isotopic gases to elucidate reaction sequence. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 4, pp. 297–334.
7. Baker, R.R. (1983b): Primary and secondary formation of carbon monoxide during combustion of tobacco. *Oxidation Communications* 3, pp. 269–281.
8. Baker, R.R. (1999): Smoke chemistry. In: Davis, D.L., Nielsen, M.T. (Eds.), *Tobacco Production, Chemistry and Technology*. Blackwell Science, Oxford, UK, pp. 398-439.
9. Baker, R.R., Bishop, L.J. (2005): The pyrolysis of non-volatile tobacco ingredients using a system that simulates cigarette combustion conditions. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 74, pp. 145–170.

10. Baker, R.R. (2006a): Smoke generation inside a burning cigarette: modifying combustion to develop cigarettes that may be less hazardous to health. *Prog. Energ Combust. Sci.* 32, pp. 373-385.
11. Baker, R.R. (2006b): The generation of formaldehyde in cigarettes - overview and recent experiments. *Food Chem. Toxicol.* 44, pp. 1799-1822.
12. Baker, R.R., Coburn, S., Liu, C., McAdam, K.G. (2016): The science behind the development and performance of reduced ignition propensity cigarettes. *Fire Sci. Rev.* 5, 2.
13. Borgerding, M.F., Klus, H. (2005): Analysis of complex mixtures – cigarette smoke. *Exp. Toxicol. Pathol.* 57, pp. 43-73.
14. Branton, P. and Bradley, R.H. (2009): Ext. Abstr. Carbon Biarritz, France, June 13–19.
15. Branton, P.J., Lu, A.-H. and Schüth, F. (2009): *Carbon* 47, 1005.
16. Branton, P.J., McAdam, K.G., Duke, M.G., Liu, C., Curle, M., Mola, M., Proctor, C.J., Bradley, R.H. (2011a): Use of classical adsorption theory to understand the dynamic filtration of volatile toxicants in cigarette smoke by active carbons, *Adsorption Science and Technology* Vol. 29, pp. 117-138.
17. Branton, P.J., McAdam, K.G., Winter, D.B., Liu, C., Duke, M.G., Proctor, C.J. (2011b): Reduction of aldehydes and hydrogen cyanide yields in mainstream cigarette smoke using an amine functionalised ion exchange resin. *Chem. Cent. J.* 5, 15.
18. Borgerding, M.F., Klus, H., (2005): Analysis of complex mixtures – cigarette smoke. *Experimental and Toxicologic Pathology* 57, pp. 43–75.
19. Boyd D. (2000): Platinum group metals in the potential limitation of tobacco related diseases. *Platinum Metals Review*.44(3): pp. 106-107.
20. Browne CL.(1981): *Design of Cigarettes*. Charlotte, NC: Celanese Fibers Company; pp. 1-73.
21. Chen, P.X., Moldoveanu, S. (2003): Mainstream smoke chemical analyses for 2R4F Kentucky reference cigarette. *Beiträge zur Tabakforschung International* 20, pp. 448–458.

22. Coburn, S. (2010): Low Ignition Propensity: Effect of Tobacco Type, Stem Inclusion Level and Cigarette Circumference on the Performance in the ASTM E2187-04 Test Method. *BAT Report No. P.487*.
23. Coggins, C.R.E. and Gaworski, C.L. (2008) *Regul. Toxicol. Pharm.* 50, 359.
24. Coggins, C.R.E., McKinney Jr., W.J., Oldham, M.J. (2013); A comprehensive evaluation of the toxicology of experimental, non-filtered cigarettes manufactured with different circumferences. *Inhal. Toxicol.* 25, pp. 69-72.
25. Counts, M.E.; Morton, M.J.; Laffoon, S.W.; Cox, R.H.; Lipwicz, P.J. (2005): Smoke composition and predicting relationships for international commercial cigarettes smoked with three machine-smoking conditions. *Regul. Toxicol. Pharmacol.* 41, pp. 185-227.
26. Cvetković, N., Adnadjević, B., Nikolić, M. (2002): Catalytic Reduction of NO and NO<sub>x</sub> Content in Tobacco Smoke. *Beiträge zur Tabakforschung International*, Vo.20; No 1. pp. 43-48.
27. Dittrich, D.J., Sutton, J.P., Coburn, S., Figlar, J.N. (2003): Improvements Relating to Smoking Articles and Smokable Filler Materials Therefor, Patent Nr. EP1501382 B1 to British American Tobacco (Investments) Limited, UK.
28. Dittrich, D.J., Fiebelkorn, R.T., Bevan, M.J., Rushforth, D., Murphy, J.J., Ashley, M., McAdam, K.G., Liu, C., Proctor, C.J. (2014): Approaches for the design of reduced toxicant emission cigarettes. *SpringerPlus* 3, pp. 374.
29. Đulančić, N. (2007): Utjecaj tipa i količine duhana u mješavini za cigarete na formiranje osnovnih po zdravlje štetnih elemenata duhanskog dima. *Doktorska disertacija*, Univerzitet u Sarajevu. Poljoprivredno-prehrambeni fakultet – Sarajevo.
30. Đulančić Nermina, Nukić, E. (2010): Efekti sosiranja i termičke obrade na fizičko-hemische karakteristike Burley duhana, Radovi Poljoprivredno-prehrambenog fakulteta, VOL, LV, No. 60/1, pp:267-274.
31. Đulančić, N., Radojičić, Vesna, Srbinoska, Marija. (2013): The influence of Tobacco Blend Composition on the Carbon Monoxide Formation in

- Mainstream Cigarette Smoke. Archives of Industrial Hygiene and Toxicology No. 1. Vol. 64. pp: 107-113.
- 32. Đulančić, N. (2014): Obrada i prerada duhana, Univerzitet u Sarajevu, Sarajevo.
  - 33. Đulančić, N., Radojičić, V., Srbinoska, M. (2014): The effect of cigarette moisture on formation of particulate phase of the mainstream tobacco smoke. Proceedings 24<sup>th</sup> International Scientific-Expert Conference of Agriculture and Food Industry-Sarajevo. pp: 260-264. ISBN: 978-9958-597-38-1, COBISS.BH-ID 21263622
  - 34. Đulančić, N., Tahmaz, J. (2017): Utjecaj propustljivosti cigaret papira na sastav glavne struje dima. Radovi Poljoprivredno-prehrambenog fakulteta Univerziteta u Sarajevu. Broj 67/1, pp.183-189.
  - 35. Đulančić, N., Radojičić, V., Srbinoska, M., Tahmaz, J. (2017): Influence of tobacco blend composition on polycyclic aromatic hydrocarbons formation in cigarette smoke. Works of the faculty of Agriculture and Food Sciences University of Sarajevo. № 67/2 pp. 525-535.
  - 36. EC, (2013): European Commission Document 2013.[http://ec.europa.eu/health/tobacco/docs/fs\\_slim\\_cigarettes\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/health/tobacco/docs/fs_slim_cigarettes_en.pdf) [Pristup: 09.04.17.].
  - 37. Fiebelkorn, R.T., Robinson, D.P. (1988): The Influence of Cigarette Circumference on Main stream Smoke Particle Characteristics. BAT ReportNo.RD.(2114):<http://industrydocuments.library.ucsf.edu/tobacco/docs/rfbho135> [Pristup: 09.04.17.].
  - 38. Fowles, J. and Dybing, E. (2003): Application of toxicological risk assessment principles to the chemical constituent of cigarette smoke, Tobacco Control 12, 424-430.
  - 39. Formella K., T. Braumann, and H. Elmenhorst: TheInfluence of Different Parameters on the SemivolatileComposition of Mainstream Smoke; Beitr. Tabak-forsch. Int. 15 (1992) 123–128.
  - 40. Gaworski, C. L., H. Schramke, J. Diekmann, T. J. Meisgen, F. J. Tewes, D. J. Veltel, P. M. Vanscheeuwijck, N. Rajendran, M. Muzzio and H. J. Haussmann (2009). Effect of filtration by activated charcoal on the toxicological activity of cigarette mainstream smoke from experimental cigarettes. Inhal Toxicol 21(8): 688-704. doi:10.1080/08958370802406290

41. Green, C.R. (2009): Book review: The chemical components of tobacco and tobacco smoke (Alan Rodgman and Thomas A. Perfetti, CRC Press, Taylor and Francis Group, Boca Raton, Florida, 2008, *Beitr. Tabakforsch. Int.* 23; pp. 227–230).
42. Gregg, E.; Hill, C.; Hollywood, M.; Kearney, M.; McAdam, K. (2004): McLaughlin, D.; Purkis, S; Williams, M. The UK smoke constituents testing studysummary of results and comparison with other studies. *Beitr. zur Tabakforsch. Int.* 21, pp. 117-138.
43. Hammond, D.; Wiebel, F.; Kozlowski, L.T.; Borland, R.; Cummings, K.M.; O'Connor, R.J.; McNeill, A.; Connolly, G.N.; Arnott, D.; Fong, G.T. (2007):  
Review: revising the machine smoking regime for cigarette emissions: implications for tobacco control policy. *Tob. Control.* 16, pp. 8-14.
44. Hammond D.; O'Connor, R.J. Constituents in tobacco and smoke emissions from Canadian cigarettes. *Tob. Control.* 2008, 17(Suppl.1), pp. 124-131.
45. Hanshaw, W., Nutt, M., Chickos, J.S. (2008): Hypothetical thermodynamic properties. Subcooled vaporization enthalpies and vapor pressures of polyaromatic hydrocarbons. *Journal of Chemical and Engineering Data* 53, pp. 1903–1913.
46. Hearn B, Ding Y, Vaughan C, et al. (2010): Semi-volatiles in mainstream smoke delivery from select charcoal-filtered cigarette brand variants. *Tob Control.* 19: pp. 223-230.
47. Hoffmann D, Djordjevic MV, Hoffmann I. (1977): The changing cigarette. *Prev Med*; 26(4):pp. 427-434.
48. Hoffmann D, Hoffmann I. (2001): The changing cigarette: chemical studies and bioassays. In National Cancer Institute (NCI), ed. *Risks Associated with Smoking Cigarettes with Low Machine-measured Yields of TAR and Nicotine. Smoking and Tobacco Control Monograph* 13. Bethesda MD: NCI;pp. 159-191.
49. Ingebrethsen, B.J. (1986): Aerosol studies of cigarette smoke. *Recent Adv. Tob. Sci.*, 12, pp. 54-142.

50. Jeffrey, S. (2005): Using „Basic Principles“ to understand Complex Science: Nicotine smoke chemistry and literature analogies. *Journal of Chemical Education*. Vol. 82, No 10.
51. Jing Y., C. Gong, K. Xian, C. Wang, and P. Lu: The Effects of Filter Ventilation on Flavor Constituents in Cigarette Smoke; Beitr. Tabakforsch. Int. 21 (2005) 280–285.
52. Kamenčić, A. (2010): sadržaj čestične faze dima u ovisnosti od vlažnosti cigarete, Master rad, Univerzitet u Sarajevu, Poljoprivredno-prehrambeni fakultet, pp: 33.
53. Keith, C.H.: Physical Mechanisms of Smoke Filtration; *Rec. Adv. Tob. Sci.* 4 (1978) 25–45.
54. Koller, K.B., Wrenn, S.E., Houck, W.G., Paine, J.B.I. (2005): Filter For Selective Removal of a Gaseous Component. Patent Nr. US 6,911,189 B to Philip Morris USA Inc., USA.
55. Lewis LS Norman AB, Robinson AL. (1990): The evaluation of palladium/copper catalysts for CO removal. Bates Number: 508537386.
56. Li MT, Zhu YY, Li L, et al. (2015): Molecularly imprinted polymers on a silica surface for the adsorption of tobacco-specific nitrosamines in mainstream cigarette smoke. *J Sep Sci.* 38(14): pp. 2551-2557.
57. Lin WG, Zhou Y, Cao Y, Zhou SL, Wan MM, Wang Y, Zhu JH (2013a) Applying heterogeneous catalysis to health care: *in situ* elimination of tobacco-specific N-nitrosamines (TSNA) in smoke by molecular sieves. *Catal Today* 212: pp. 52–61.
58. Lin WG, Zhou Y, Gu FN, Zhou SL, Zhu JH (2013b) Catalytic degradation of tobacco-specific N-nitrosamines by ferric zeolite. *Appl Catal B* 129: pp. 301–308.
59. Liu, C.; Woodcock, D. Observing the peripheral burning of cigarettes by an infrared technique. *Beitr. zur Tabakforsch. Int.* 2002, 20, pp. 257-264.
60. Liu, C., McGrath, C., McAughey, J. (2005). Tobacco smoke measurement using fast electrical mobility spectrometers. Oral presentation made at the 9th International Congress on Combustion By-products and their Health Effects, Tucson, Arizona, USA, June 12-15.

61. Lü, J., Gong, W., Zhou, S., Y, Y., liu, S., Liu, X., Wang, X. (2015): Studies on NaY zeolites used to remove benzo[a]pyrene and phenol in cigarette mainstream smoke. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 7(6) pp.37-41.
62. Lyman, C.S.; Perfetti, T.A.; Riggs, D.M.; Morgan, W.T.(2003): Thermal emissivity and cigarette coal temperature during smolder. *Beitr. zur Tabakforsch. Int.* , 20, pp.381-388.
63. Muramatsu, M. (1981): Studies on the transport phenomena in naturally smouldering cigarettes. *Sci. Papers Central Res. Inst. Jpn. Tob. Salt. Mon. Corp* 123, pp.9-77.
64. McAdam, K.G., Gregg, E.O., Liu, C., Dittrich, D.J., Duke, M.G., Proctor, C.J. (2011): The use of a novel tobacco-substitute sheet and smoke dilution to reduce toxicant yields in cigarette smoke. *Food Chem. Toxicol.* 49, pp. 1684-1696.
65. McAdam, K., Gregg, E., Bevan, M., Dittrich, D.J., Hemsley, S., Liu, C., Proctor, C.J. (2012): Design and chemical evaluation of reduced machine-yield cigarettes. *Regul. Toxicol. Pharmacol.* 62, pp. 138-150.
66. McAdam, K., Eldridge, A., Fearon, J.M., Liu, C., Manson, A., Murphy, J., Porter, A. (2016): Influence of cigarette circumference on smoke chemistry, biological activity, and smoking behaviour. *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 82, pp. 111-126.
67. McCormack A, Taylor M. (2009): Superslim carbon filters – effect of carbon weight and smoking regimes. *CORESTA Smoke Science and Product Technology Joint StudyGroup Meeting*.
68. Morton, M., Laffon, S., Lipowicz, P., Seeman, J. (2013): Relationship between mainstream cigarette smoke „TAR“ and nicotine Yields. *Beiträge zur Tabakforschung International*. Vol. 25, No 8, pp. 671-684.
69. Nikolić, M. (2004): Tehnologija prerađe duvana. *Poljoprivredni fakultet Univerzitet u Beogradu*, Beograd.
70. Norman, A. (1999): in *Tobacco, Production Chemistry and Technology*, Davis, D.L., Nielsen, M.T., Eds, Blackwell Science, Malden, MA, U.S.A., pp. 353-387.
71. O'Connor RJ HP. (2008): Existing technologies to reduce specific toxicant emission in cigarette smoke. *Tob Control.*(Suppl 1) pp.39-48.

72. Perfetti, P.F., Townsend, D.E., Taylor, J.N. (1983): The Effect of Circumference on Cigarette Burn Rates and Deliveries. *RJRT Report R&DM No 75. Project No 7608.*
73. Perfetti, T.A., Rodgman, A. (2011): The complexity of tobacco and tobacco smoke. *Beiträge zur Tabakforschung International*, Vo.24, No 5, pp. 215-232.
74. Perfetti, T.A., Rodgman, A. (2013): The Chemical Components of Tobacco and Tobacco Smoke, second ed. CRC Press. Available at: <http://industrydocuments.library.ucsf.edu/tobacco/docs/qjhgo082> [Pristup: 09.04.17.].
75. Piade, J.J., Wajrock, S., Jaccared, G., Janeke, G. (2013): Formation of mainstream cigarette smoke constituents prioritized by the World Health Organization – Yield patterns observed in market surveys, clustering and inverse correlation. *Food and Chemical Toxicology* 55, pp. 329-347.
76. Polzin G, Zhang L, Hearn B, et al. (2008): Effect of charcoalcontaining cigarette filters on gas phase volatile organic compounds in mainstream cigarette smoke. *Tob Control* 17, pp. 10-16.
77. Purkis, S.W., Mueller C., Intorp M. and Seidel H.(2010) : The influence of cigarette designs and smoking g regimeson vapour phase yields; *Beitrage zur Tabakforschung International* 24; pp. 33 – 46.
78. Purkis, S.W.; Drake, L.; Meger, M.; Mariner, D.C. (2010a): A review of the UK methodology used for monitoring cigarette smoke yields, aspects of analytical data variability and their impact on current and future regulatory compliance. *Regul. Toxicol. Pharmacol.* 56, pp. 365-373.
79. Radojičić, V., Nikolić, M. (2003/2004): Koncepcija "Sigurne" Cigarette. *Bilten za hmelj, sirak i lekovito bilje*, Vol. 35/36, No. 76–77, pp. 21-30.
80. Radojičić, V., Nikolić, M., Adnadjević, B. (2009): The influence of zeolite type added to cigarette blend on the changes of pyrolytic temperatures. *Hem. ind.* 63 (5a), pp. 579-583.
81. Radojičić, V., Đulančić, N., Srbinoska, M.(2011): Effect of type and quantity silicate materials directly added to the mixture on the

- changes the physical characteristics of cigarettes, *Tutun/Tobacco* Vol. 61, No 7-12, pp. 100-104.
- 82. Radojičić, V., Alagić, S., Adnađević, B., Maktouf, A. (2012): Effect of varied quantities of zeolite on the reduction of polycyclic aromatic hydrocarbons in tobacco smoke, *African Journal of Biotechnology* 11(42), pp. 10041-10047.
  - 83. Radojičić, V. (2006): Modifikovanje sastava duvanskog dima procesima katalitičkog krekinga. *Doktorska disertacija, Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Beogradu, Beograd.*
  - 84. Radojičić, V. (2016): Tehnologija duvana, *Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Beogradu, Beograd.*
  - 85. Rodgman, A.; Perfetti, T.A. (2008): *The Chemical Components of Tobacco and Tobacco Smoke*. Boca Raton, FL: CRC Press.
  - 86. Rodgman, A. and C.R. Green (2002): Toxic chemicals in cigarette mainstream smoke hazard and hoopla; in: *Cigarette risk and the potential for risk reduction; Proceedings of the CORESTA Congress, New Orleans, LA*, pp. 2–52.
  - 87. Siu M, Mladjenovic N, Soo E. (2013): The analysis of mainstream smoke emissions of Canadian ‘super slim’ cigarettes. *Tob Control* 22(6), pp.10.
  - 88. Srbinoska, M., Kirkova, S., Radojičić, V., Đulančić, N. (2016): Influence of cigarette circumference on TAR, nicotine and carbon monoxide yields. *Tytun/Tobacco*, Vol.66, №, 7-12, pp.72-81. ISSN 0494-3244, UDC:663, 975.
  - 89. Taylor M. (2004): The role of filter technology in reduced yield cigarettes. *Filtrona. World Tobacco Exhibition Kunming.* [www.filtronafilters.com/uploads/KunmingPresentationNovo4.ppt](http://www.filtronafilters.com/uploads/KunmingPresentationNovo4.ppt). (Pristup: 25 August 2017.
  - 90. Taylor, J. (2014). The influence of cigarette filter design on teh yiled and composition of cigarette smoke. *CORESTA Congres, Chateau Frontanac, Quebec City, Canada, Octobar 12 – 16.*
  - 91. Taylor M. (2017): The role of filter technology in reduced yield cigarettes. *Filtrona. World Tobacco Exhibition Kunming.* November 16-18 2004. Available at: [www.filtronafilters.com/uploads/KunmingPresentationNovo4.ppt](http://www.filtronafilters.com/uploads/KunmingPresentationNovo4.ppt). Accessed August 25.

92. Tomić, Lj., Demin, A. (1977): Tehnologija proizvodnje i prerade duvana. Minerva, Subotica, Beograd.
93. Torikai, K., Miyoshi, R., TARora, W., Yoshida, S., Takahashi, H. (2003): The effect of additives on the generation of smoke constituents during tobacco pyrolysis. In: *Paper Presented at 57th Tobacco Science Research Conference, Norfolk, VA, USA, Program Booklet and Abstracts*, No. 53, pp. 54
94. Yamamoto T, Suga Y, Tokura C, et al. (1985): Effect of cigarette circumference on formation rates of various components in mainstream smoke. *Beitrag zur Tabakforschung*. 13:pp. 81-87.
95. US Centers for Disease Control and Prevention (CDC), (2010): National Center for Chronic Disease Prevention and Health Promotion, Office on Smoking and Health (US). *How Tobacco Smoke Causes Disease: The Biology and Behavioral Basis for Smoking-Attributable Disease: A Report of the Surgeon General*. Atlanta, GA: CDC.
96. Zhou, S., Ning, M., Zhang, Y., He, Q., Wang, X., Zhu, D., Guo, S., Hong, N., Hu, Y. (2014): Significant removal of harmful compounds in mainstream cigarette smoke using carbon nanotubes mixture prepared by catalytic pyrolysis. *Adsorption Science and Technology*. Vo. 32 No 6, pp. 453-464.
97. Zhigang, C., Zhang, L., Tang, Y., Jia, Z. (2006): Adsorption of nicotine and tar from the mainstream smoke of cigarettes by oxidized carbon nanotubes . *Applied Surface Science*, Vo.252, Issue 8, 15. pp: 2933-2937.