



Pena kao sredstvo za gašenje požara

Emina Mihajlović

Pena kao sredstvo za gašenje požara

Penu čini masa mehurova ispunjenih vazduhom. Mehur pene obrazuju vodeni rastvor odgovarajućeg koncentrata za penu i vazduh. **Pena je sredstvo za gašenje požara koje se uspešno primenjuje za lokalizaciju i gašenje požara zapaljivih tečnosti i usporavanje ponovnog paljenja.** Takođe se koristi za sprečavanje paljenja zapaljivih tečnosti i u izvesnim okolnostima za gašenje požara čvrstih zapaljivih materijala. Pene se mogu koristiti u kombinaciji sa drugim sredstvima za gašenje požara, naročito halonima, ugljendioksidom i prahom.

Pena kao sredstvo za gašenje požara

U principu pena se koristi za gašenje požara zapaljivih tečnosti, efektima ugušivanja i hlađenja koji se smenjuju u prostoru i vremenu sledećim redosledom:

- ugušivanje, podefekat odvajanja,
- hlađenje, podefekat izjednačavanja i isparavanja i
- ugučivanje, podefekat razređenja.

Pena kao sredstvo za gašenje požara

Nakon nanošenja pene nastupa odvajanje gorive materije i vazduha čime nastupa ugušivanje jer pena onemogućava isparavanje gorive materije i formiranje volatila^[1]. Volatili, parna faza, koji su nastali pre nanošenja pene, izgoreće a novi neće nastati jer izolujući sloj sredstava za gašenje svojom kompaktnošću, čvrstoćom i otporom sprečava nastajanje i ulazak novih volatila u zonu požara, čime se gorenje prekida.

^[1] volatili (lat. volatilis – isparljiv) – isparenje

Pena kao sredstvo za gašenje požara

- Hlađenje nastupa samim nanošenjem pene, koja je na nižem temperaturnom nivou od zapaljene tačnosti i nastavlja se raspadanjem pene. Formirane kapi vode padaju kroz sloj tečnosti i hlade je, čime nastupa poddefekat izjednačavanja. Na tom putu, kapi vode se zagrevaju i isparavaju, čime nastupa poddefekat isparavanja. Formirana vodena para, zbog manje zapreminske mase, napušta zapaljivu tečnost, prolazi kroz penu i odlazi u prostor iznad pene, pa vrši inertizaciju, razređenje, odnosno smanjuje procenta kiseonika u zoni sagorevanja.
- Bez obzira na ostale efekte i poddefekte gašenja penom, **ugušivanje, odnosno odvajanje je dominantan proces gašenja požara penom.**

Pena kao sredstvo za gašenje požara

- Pena je veoma efikasno sredstvo za gašenje požara pre svega nafte i naftinih derivata.
- **Pod penom podrazumevamo disperznu [1] smešu gasa i tečnosti u formi mehurića, koji su odvojeni jedan od drugog tečnim opnama. Penama su svojstveni:**
 - heterogenost,
 - agregatna nestabilnost i
 - postojanje treće komponente-stabilizatora.
- U stvari pena ima svojstva koja karakterišu bilo koji heterogeni sistem.

[1] disperzija (lat. disperzio) – 1. rasipanje, 2. smesa u kojoj jedna ili više materija raspršeno u nekoj drugoj.

Pena kao sredstvo za gašenje požara

- Heterogenost pene sastoji se u tome, što se pena sastoji najmanje od dve komponente:
 - disperzne tečne sredine i
 - faze gasa.
- Kao heterogeni sistem pena se može označiti kao „gas-tečnost“.
- Pena se sastoji od mehurića čiju opnu čine emulzija, a unutrašnjost je ispunjena:
 - CO₂ ili
 - vazduhom.
- Ako je mehur ispunjen:
 - CO₂ upitanju je hemijska pena, a ako je ispunjen
 - vazduhom reč je o vazdušnoj ili mehaničkoj peni.

Pena kao sredstvo za gašenje požara

- Poznato je da apsolutno čiste tečnosti ne obrazuju penu, zbog velikog površinskog napona. Prema tome, jedan od uslova obrazovanja pene je smanjenje površinskog napona tečne faze. U tu svrhu koriste se **ekstakti** na bazi belančevina ili sintetičkih materijala. Često se pored termina ekstrakti koriste sinonimi: koncentracije za penu i penila.
- Za stvaranje pene za gašenje neophodno je uvesti najmanje tri puta veću zapreminu vazduha. Pri ovome se zapremina pene povećava četiri puta u odnosu na vodu. Ovakva pena sadrži 75% vazduha i 25% vode. Danas se proizvode pene pri čijem se stvaranju u tečnost uvodi sto pa i hiljadu puta veća zapremina gasa.

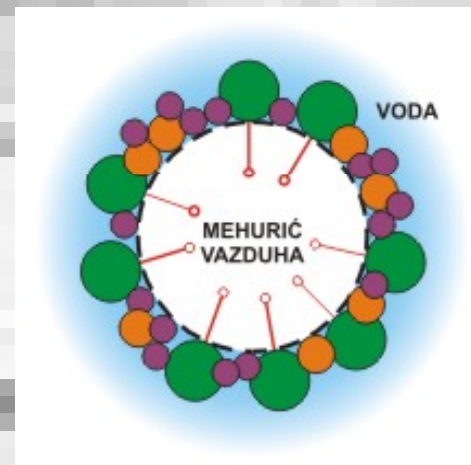
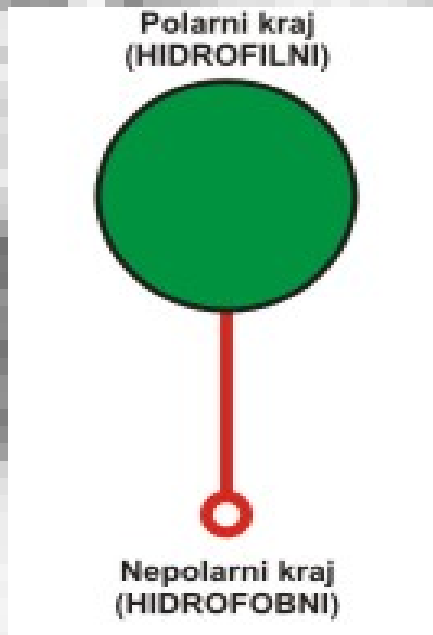
Pena kao sredstvo za gašenje požara

- Svaka pena se posle izvesnog vremena raspadne.
- Pojava raspadanja pene objašnjava se dejstvom sila površinskog napona tečnosti. Površinski napon je rezultat sila međumolekularnog uzajamnog dejstva. Za povećanje postojanosti pene potrebno je smanjiti veličinu površinskog napona tečnosti iz koje proizvodimo penu. Poznat je veliki broj materija koje smanjuju veličinu površinskog napona. Takve materije se nazivaju **površinsko-aktivnim materijama**.

Pena kao sredstvo za gašenje požara

- Molekuli površinski-aktivnih materija rastvoreni u nekoj tečnosti postaju polarni na jednom kraju, a nepolarni na drugom. Kada se zarone u vodu molekuli površinski-aktivnih materija grupišu se tako da je polarni kraj privučen molekulima vode, a nepolarni nije. Polarni koji je privučen molekulima vode oko njega postaje hidrofilan (voli vodu), dok nepolarni kraj koji nije privučen molekulima vode je hidrofoban (ne voli vodu). Površinski-aktivni molekuli teže da se skupe blizu površine, sa hidrofilnim krajem potopljenim u vodu i hidrofobnim krajem u kontaktu sa vazduhom. To im omogućuje da se sakupljaju oko mehurića vazduha.
- Na mehuriću vazduha, površinski-aktivni molekuli su orijentisani tako da su njihovi hidrofilni (polarni) krajevi u vodi, a hidrofobni (nepolarni) krajevi su u mehuriću vazduha. Ovako mehurići vezuju organske molekule iz vode ili vodenog rastvora u vidu pene.

Stvaranje mehura pene



Površinsko aktivne materije se dele na:

- Anjonaktivne [1] kod kojih je površinska aktivnost određena anjonima;
- Katjonaktivne [2] kod kojih je površinska aktivnost određena katjonima i
- Nejonogene [3] materije koje u vodenim rastvorima ne disociraju na jone.
-
- [1] Anjon, anion – negativno naelektrisani atomi ili skupovi atoma
- [2] Katjon, kation – pozitivno naelektrisani atomi ili skupovi atoma
- [3] nejonogene materije su materije koje u rastvorima ne disociraju na jone i katjone i koje ne provode električnu struju

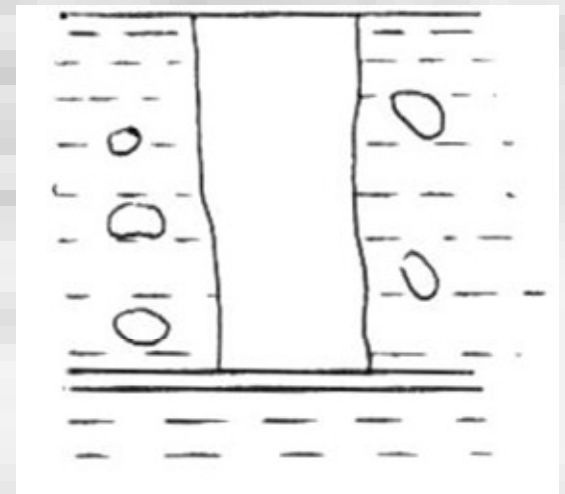
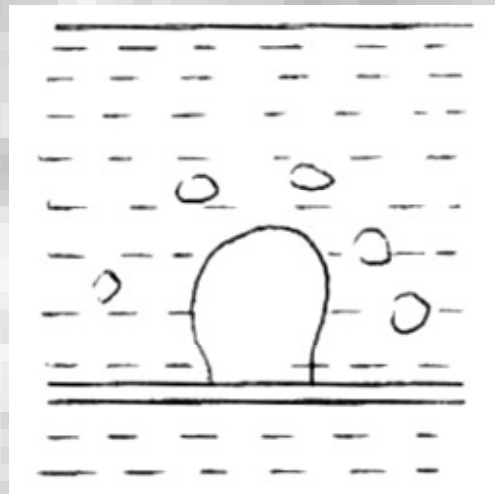
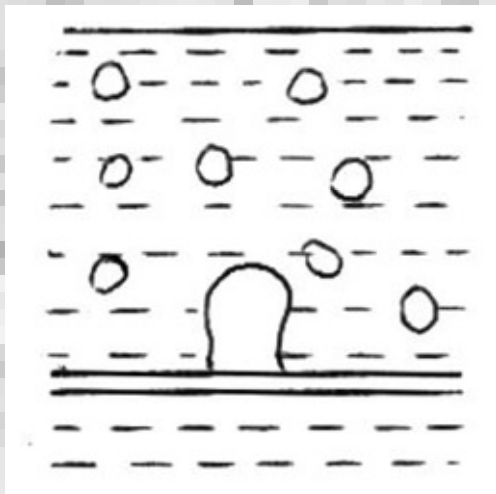
Stabilizatori pene

- Sa snižavanjem površinskog napona stvoreni mehurići još nemaju dovoljno jaku opnu za stvaranje postojane pene. Dešava se da se voda sliva sa zidova mehurića što ih čini tankim i slabim. Da bi se povećala strukturno-mehanička stabilnost u vodu se dodaju **stabilizatori pene**. Ovde spadaju belančevinaste materije, sapuni, organske materije i dr. Dejstvo stabilizatora sastoji se u tome, što se raspoređuju u opnama mehurića, stvarajući otpor razlivanju tečnosti sa mehura i na taj način povećavaju postojanost pene.
- Ispitivanja su pokazala da se raspadanje pene događa sa uvećavanjem mehurića.

Razgradnja pene

- U stvarnosti pena predstavlja bezbroj mehurića različitih po veličini. Pritisak gasa u mehuru je direktno proporcionalan vrednosti koeficijenta površinskog napona, a obrnuto proporcionalan prečniku mehurića. Zbog međusobnog dodirivanja mehurića različitih po veličini pritisak gasa na opnu sa strane manjeg mehura je veći. **Usled razlike pritiska puca opna većeg i dva mehura se stapaju u jedan.**

Šema prodora para goriva kroz sloj pene



Mehanizam gašenja penom

Pena ima delom zagušujuće, delom rashlađujuće dejstvo. Od ova dva dejstva ne može se reći koje je glavno jer se smenjuju i po intenzitetu i po fazama gašenja požara.

- Zagušujuće dejstvo nastupa kad pena pokrije zapaljivu površinu ona izvrši odvajanje gasne od tečne faze i prekida proces isparavanja, a time i sagorevanja.
- Posle raspadanja pene nastupa efekat hlađenja. Efekat hlađenja ima dva podefekta: efekat izjednačavanja i isparavanja.

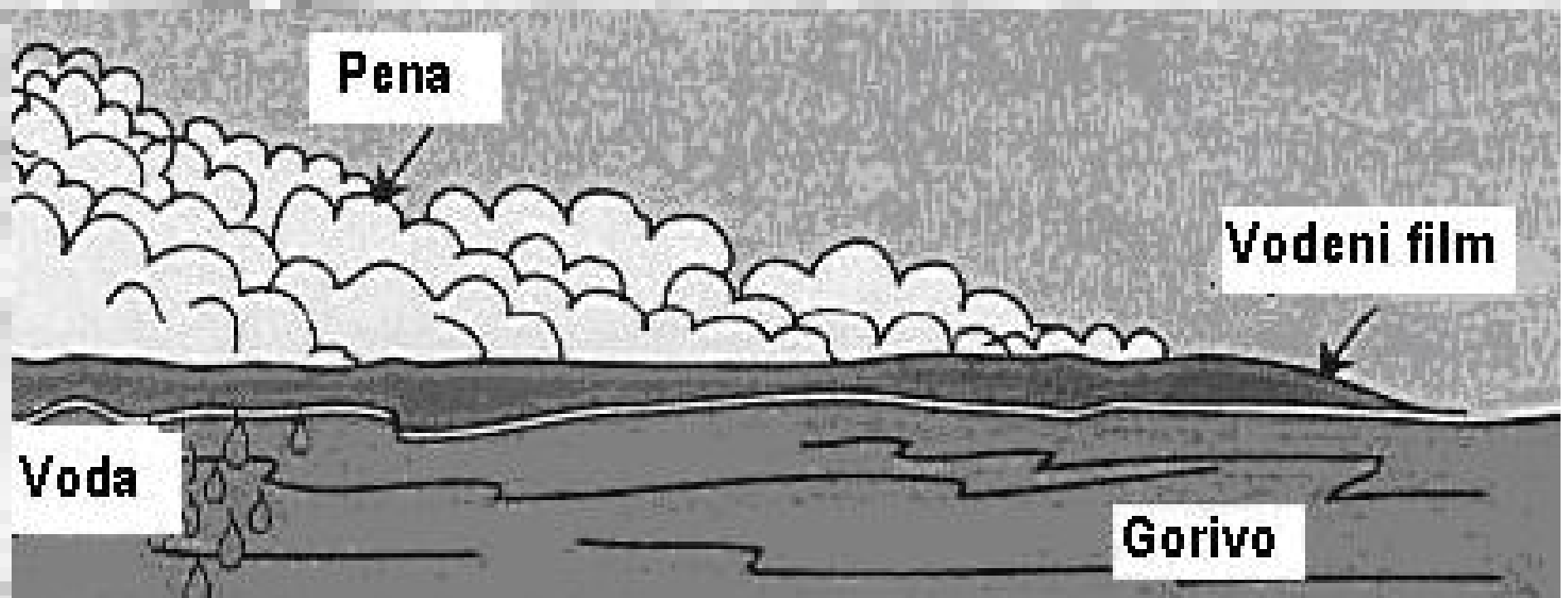
Mehanizam gašenja penom

- Pena se na površini goriva, zagrejanog preko 100 °C delom raspada tako da se stvaraju kapi vode koje se slivaju sa mehurića. U prolazu kroz sloj goriva ova voda se zagreva i isparava. Nastali mehurići vodene pare kreću se naviše i cela površina daje izgled tečnosti koja ključa. Ovim procesom se temperatura gorive površine snizi na maksimum 100 °C . Zatim se površina tečnosti smiri, što omogućava da novodovodena pena ostaje nerazgrađena i pliva na površini, čime se stvara plašt od pene.

Mehanizam gašenja penom

- Posle raspadanja pene, nastale kapi vode padaju kroz slojeve zapaljene tečnosti naniže, a zatim se kreću naviše i vrše izjednačavanje. Tokom strujanja kroz tečnost one isparavaju. Isparavanjem oduzimaju toplotu od materije koja gori, temperatura se snižava i brzina sagorevanja se usporava do prekida sagorevanja.

Efekti gašenja požara penom



Efekti gašenja požara penom

- Ako pokrijemo svu površinu tečnosti koja gori slojem pene dovoljne debljine, brzina formiranja volatila znatno opada i gorenje se prekida.
- Proces raspadanja pene dešava se u dubini sloja pene kao i u blizini granice pena-tečnost koja gori. U ovom drugom slučaju pena se raspada praveći na površini tečnosti koja gori tanki vodeni film po kom pena klizi. On nastaje usled pucanja donjih zidova mehurića pene što je predstavljeno na slici.

Načini dobijanja pene

Penu je moguće dobiti:

- disperzionim[1] i
- kondenzacionim[2] putem.

[1] Disperzija, lat dispersio – rasturanje

[2] Kondenzacija, lat. condensatio – zgušnjavanje, pretvaranje pare u tečnost

Načini dobijanja pene

- **Disperzionim** načinom pena se stvara kao rezultat intenzivnog dispergovanja rastvora za upenjavanje i vazduha. Dispergovanje se tehnološki ostvaruje na sledeće načine:
 - Pri prolazu struje gasa kroz sloj tečnosti;
 - Pri dejstvu pokretnih uređaja na tečnost u atmosferi gasa ili pri dejstvu pokretnih tečnosti na pregradu i
 - Pri ejektiranju[1] vazduha pokretnom strujom tečnosti.

[1] Ejektirati, lat. eiectus – 1. izbaciti, 2. sprava za crpljenje ili usisavanje, 3. mehanizam na pušci koji izbacuje praznu čauru [8]

Kondenzacioni način

- **Kondenzacioni** način nastajanja pene zasniva se na izmeni parametara fizičkog stanja sistema, dovođenjem do prezasićenja rastvora gasom. Na ovaj način dobijanje pene je rezultat hemijskih reakcija i mikrobioloških procesa, praćenih dobijanjem gasovitih produkata.

Osnovna svojstva pene za gašenje požara

Osnovna svojstva koja utiču na efikasnost pene kao sredstva za gašenje požara su:

- broj penušanja (upenjavanja) i ekspanziona sposobnost pene,
- stabilnost (postojanost pene),
- viskozitet (tečljivost pene),
- toplotna provodljivost pene i
- disperznost pene.

a) Broj upenjavanja i ekspanziona sposobnost pene

Broj upenjavanja pene predstavlja odnos zapremine pene V_p prema zapremini rastvora V_r , iz koje je proizvedena:

$$P = V_p / V_r \quad [-] \quad (1)$$

gde je:

- $P [-]$ - broj upenjavanja,
- $V_p [m^3]$ - zapremina pene i
- $V_r [m^3]$ - zapremina rastvora.

Ekspanziona sposobnost

Ako označimo zapreminu pene sa V_p , a sa G masu rastvora, tada će ekspanziona sposobnost biti jednaka:

$$E = V_p / G \quad \left[\frac{m^3}{kg} \right] \quad (2)$$

Gde je:

- $E \left[\frac{m^3}{kg} \right]$ - ekspanziona sposobnost,
- $V_p [m^3]$ - zapremina pene i
- $G [kg]$ - masa rastvora.

Broj upenjavana

Pa je prema tome:

$$P = \rho_s E \quad (3)$$

gde je:

- $\rho_s \left[\frac{kg}{m^3} \right]$ - zapreminska masa smeše vode sa rastvorom za upenjavanje.

Broj upenjavanja

- Broj upenjavanja pokazuje, koliko gasa sadrži pena, dobijena iz određene zapremine tečnosti. Što je bolje upenjavanje to je lakša pena i u njoj se nalazi više gasa.
- Svojstva pene, a takođe i broj upenjavanja, menjaju se s vremenom usled raspadanja pene. O stepenu raspadanja može se rasuđivati po promeni zapremine pene ili odvajanjem tečne faze.

Brzina raspadanja pene

Promena zapremine definisana je kao:

$$\Delta V_p = V_{po} - V_p \quad [m^3] \quad (4),$$

gde je:

V_{po} [m³] - početna zapremina pene i

V_p [m³] - zapremina pene po isteku vremena τ .

Prema tome srednja brzina raspadanja pene je:

$$\omega = \Delta V_p / \tau \quad [m^3 / s] \quad (5)$$

Intenzitet raspadanja pene

Odnos brzine raspadanja prema početnoj zapremini pene daje srednji **intenzitet raspadanja** I za određen period vremena, tj.

$$I = \frac{\omega}{V_{po}} = \frac{\Delta V_p}{\tau} \cdot \frac{1}{V_{po}} \quad \left[\frac{1}{s} \right] \quad (6)$$

ili

$$I = \frac{\Delta V_p}{V_{po}} \cdot \frac{60}{\tau} \quad \left[\frac{1}{\text{min}} \right]$$

Srednji intezitet raspadanja

- Srednji intezitet raspadanja pokazuje koliko se umanjuje jedinica zapremine pene u jedinici vremena.
- Broj upenjavanja, odnosno ekspanziona moć pene zavisi od:
 - materija koje formiraju penu,
 - konstrukcije uređaja za stvaranje pene i
 - režima rada uređaja.

b) Stabilnost (postojanost pene)

Pod postojanošću pene podrazumevamo njenu sposobnost održavanja bez većeg raspadanja na površini tečnosti koja gori.

Za ocenu kvaliteta pene obično se ne uzima srednji intenzitet raspadanja, nego veličina, obrnuta njoj koja se naziva **postojanost** pene S_v :

$$S_v = 1/I \quad / \text{min}/ \quad (7)$$

Obično se postojanost pene izražava u minutama.

Postojanost pene

- Nepostoji neograničeno postojana pena. Ovo svojstvo jeste poželjno, ali ne preterano. Potrebno je da se pena postepeno raspada kako bi se voda polakao izdvojila i obavilo hlađenje. Potrebno je da se stabilnost pene kreće u određenim granicama. Izvesno vreme, posle stvaranja, pena treba da je stabilna kako bi prekrila žarište požara i obavila ugušujuće dejstvo. Posle toga, treba da se raspada polako kako bi nastupilo rashladno dejstvo pene.

c) Viskozitet pene – tečljivost pene

- Viskozitet karakteriše sposobnost razlivanja pene po površini tečnosti koja gori. O ovom svojstvu se vodi računa jer pena treba da klizi po površini goriva i po 20 metara od mesta dovođenja. Pena mora za kratko vreme da spreči ulaz gorivih para u zonu gorenja, jer što je manji napon para gorućih tečnosti lakše će se ugasiti požar.
- Jasno je da je ova sposobnost tečenja u stvari brzina napredovanja fronta pene merena na njegovom vrhu. Mnoga zapažanja govore da sloj vode koji se stvara između sloja pene i goriva znatno doprinosi sposobnosti pene da klizi, odnosno teče po površini gorive materije.

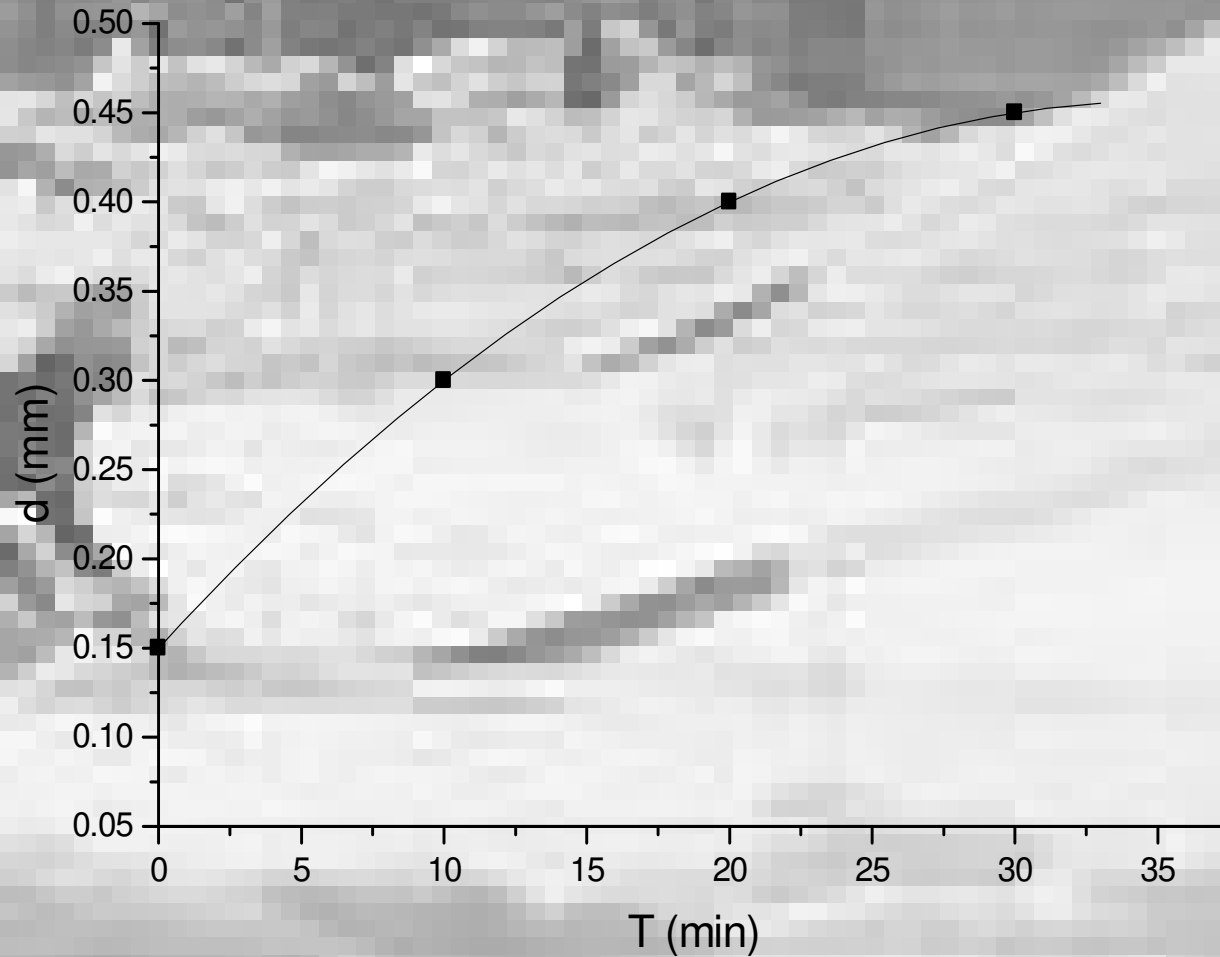
d) Koeficijent toplotne provodljivosti

Ovaj koeficijent je mali i iznosi 0,29 - 0,40 $\left[\frac{W}{m^2 K} \right]$, pa pena predstavlja toplotno izolacioni sloj u samom postupku gašenja. Tako se građevinske konstrukcije i rezervoari u blizini mesta požara prekrivaju penom i štite od zagrevanja i eventualnog paljenja.

e) Disperznost pene

- Veoma važno svojstvo pene je njena disperznost, koja daje predstavu o stepenu promene prečnika mehurića pene i određuje se njihovom veličinom. Pena se sastoji od mehurića različitih veličina. Pri raspadanju pene disperznost joj se menja. Na slici je prikazano kako se menja srednja veličina mehurića sa vremenom.

Promena prečnika mehurića vazdušno-mehaničke pene u zavisnosti od vremena



Promena veličine mehurića

- Promena veličine mehurića protiče nejednako na raznim mestima slojeva pene. Na površini pene dolazi do bržeg ukрупnjavanja mehurića nego u dubini slojeva. Disperznost pene vezana je sa brojem upenjavanja. Još uvek nije objašnjen karakter ove veze.

5.5. Vrste pena i način dobijanja

Postoje dve vrste pene koje se koriste za gašenje požara i to :

- hemijska pena i
- mehanička - vazдушna pena.

5.5.1. Hemijska pena

- Hemijska pena ni u jednoj zemlji nema više nikakvu praktičnu primenu, u prvom redu zbog komplikovanosti pripremanja, cene koštanja i otežanog transporta u slučaju potrebe za većim količinama pene.
- Hemijska pena se dobija na dva načina:
 - „mokrim“ i
 - „suvim“ postupkom.

„Mokri“ postupak dobivanja hemijske pene

- Pri „mokrom“ postupku dve supstance, koje se čuvaju odvojeno u obliku rastvora. Jedna od njih je alkalna (bazna B), a druga kisela K. One se mešaju pre uvođenja u žarište požara. Usled njihove hemijske reakcije stvara se pena.
- Alkalni rastvor sadrži u vodi rastvorljive karbonate, bikarbonate i dodatke penila, npr. belančevinastu supstancu. Za povećanje otpornosti na mraz u rastvor se dodaje glikol.

„Mokri“ postupak

- Mokrim postupkom može da se dobije pena sa brojem upenjavanja od nekoliko stotina do nekoliko hiljada puta. Stabilnost joj je oko 10 minuta i pogodna je za primenu u ručnim prenosnim aparatima.

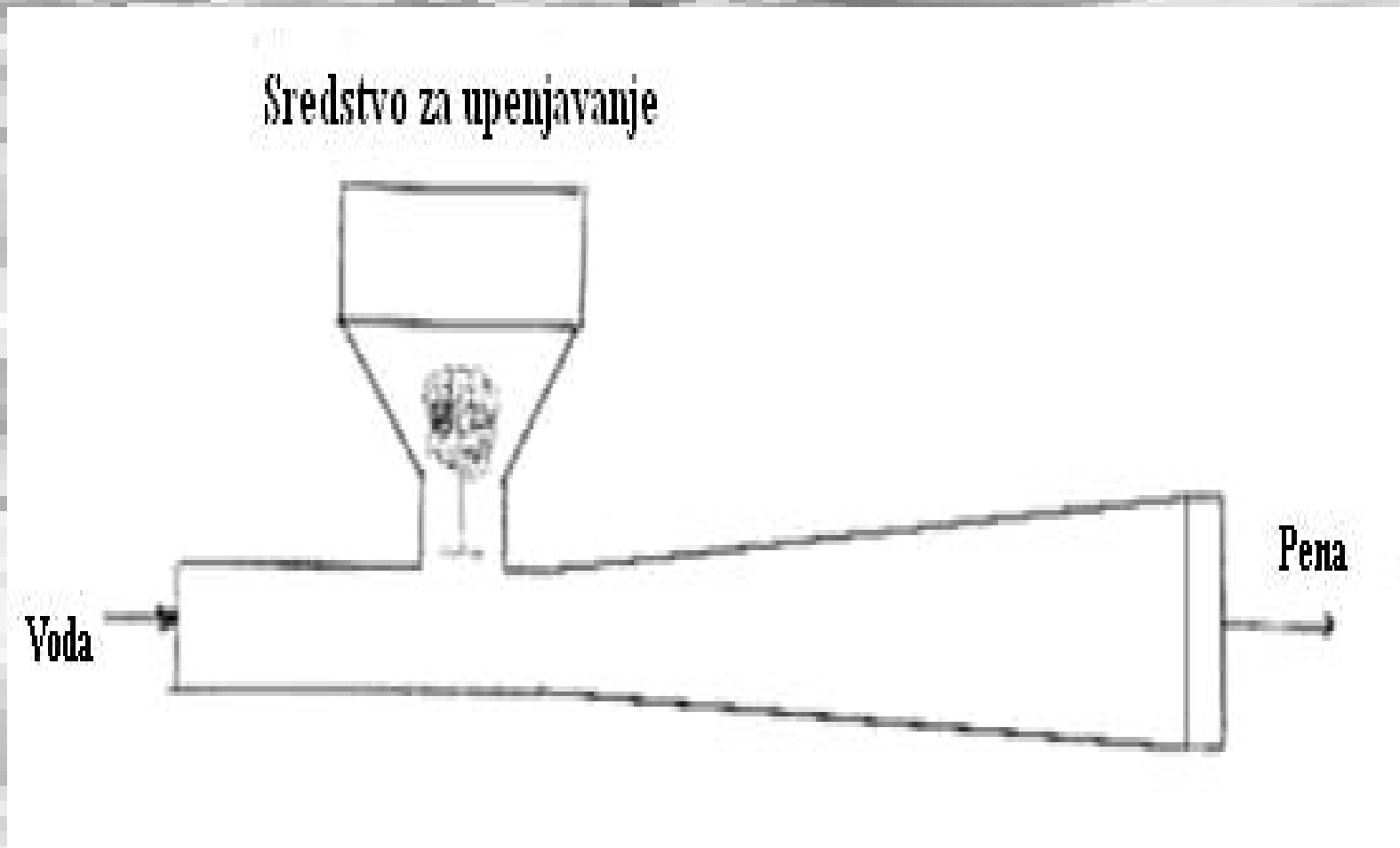
„Suvi“ postupak dobijanja pene

- Prilikom „suvog“ postupka sredstvo koje stvara penu, sastoji se od tačno doziranih alkalnih i kiselih materija, meša se u penogeneratoru sa mlazom vode. Rastvaranjem soli u toku prolaza smeše kroz crevo pod pritiskom, odvija se ista hemijska reakcija kao i prilikom „mokrog“ postupka.
- „Mokri“ postupak dobijanja pene manje je ekonomičan, pošto je čuvanje rastvora vezano sa problemom gradnje rezervoara velike zapremine, komplikovanošću njihovog održavanja i sprečavanja korozije. Prednost „suvog“ postupka dobijanja pene je u jednostavnom skladištenju praha i mogućnosti njegove primene čak i posle 5 do 10 god. čuvanja.

Primena hemijske pene

- Hemijska pena je pogodna za gašenje požara klasa A i B, ali nije pogodna za gašenje požara tečnosti koje se lako mešaju sa vodom kao što su alkoholi, acetoni i slično.
- Hemijska pena se iz praha dobija pomoću aparata-penogeneratora. Prah za upenjavanje, odvojeno se priprema, a zatim prolazi kroz ventil i ćeliju za mešanje. Rastvaranje praha i stvaranje pene dolazi tek iza aparata, u crevu. U vezi s tim na kvalitet hemijske pene veliki uticaj ima dužina creva. Pri maloj dužini, prah za upenjavanje ne uspeva da se rastvori, a pri velikoj dužini pena se može raspasti.

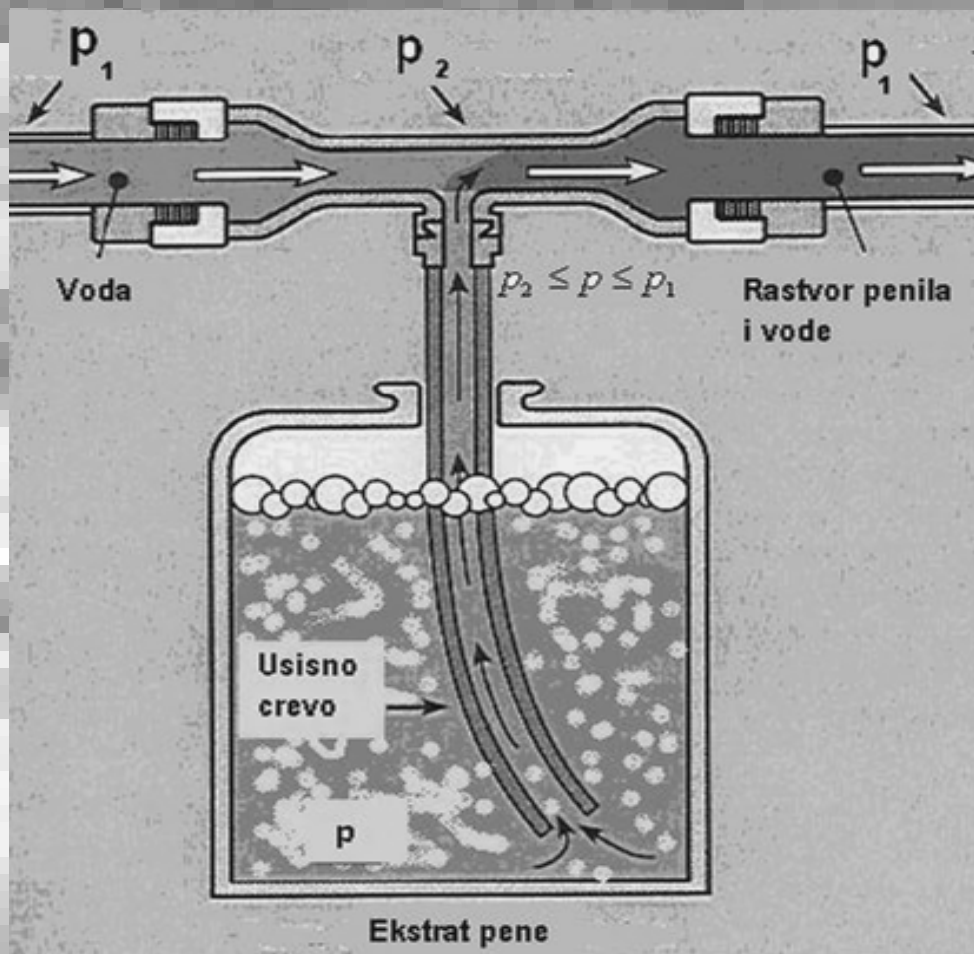
Šema penogeneratora za dobijanje hemijske pene



5.5.2. Vazdušno-mehanička pena

- Vazdušno – mehanička pena dobija se u mlaznicama za penu. Da bi se dobila pena prethodno je potrebno napraviti mešavinu (rastvor), vode i penila (ekstrakta, odnosno koncentrata za penu), tako što se penilo meša sa strujom vode u vatrogasnom crevu ejektorskim putem.

Mešanje koncentrata ili ekstrakta pene strujom vode ejektorskim putem



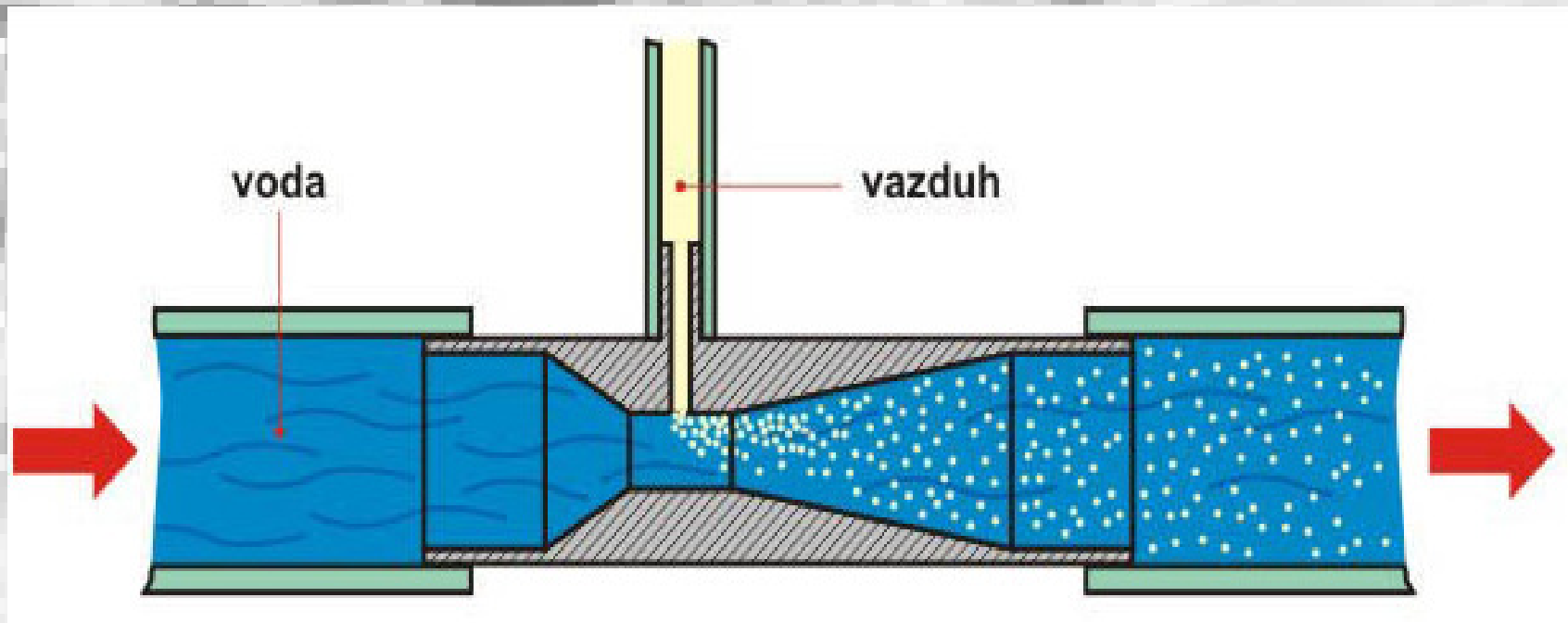
Stvaranje vazdušne pene

- Vazдушna pena stvara se u dve faze:
 - faza stvaranja smeše vode i ekstrakta i
 - faza stvaranja pene.
- Za razliku od hemijske pene, u čijim se mehurićima nalazi CO_2 koji se stvara hemijskim putem, u mehurićima mehaničke - vazdušne pene nalazi se vazduh i on se u već pripremljenu mešavinu uvodi u samoj mlaznici za penu.

Proces stvaranja mehaničke - vazdušne pene je sledeći:

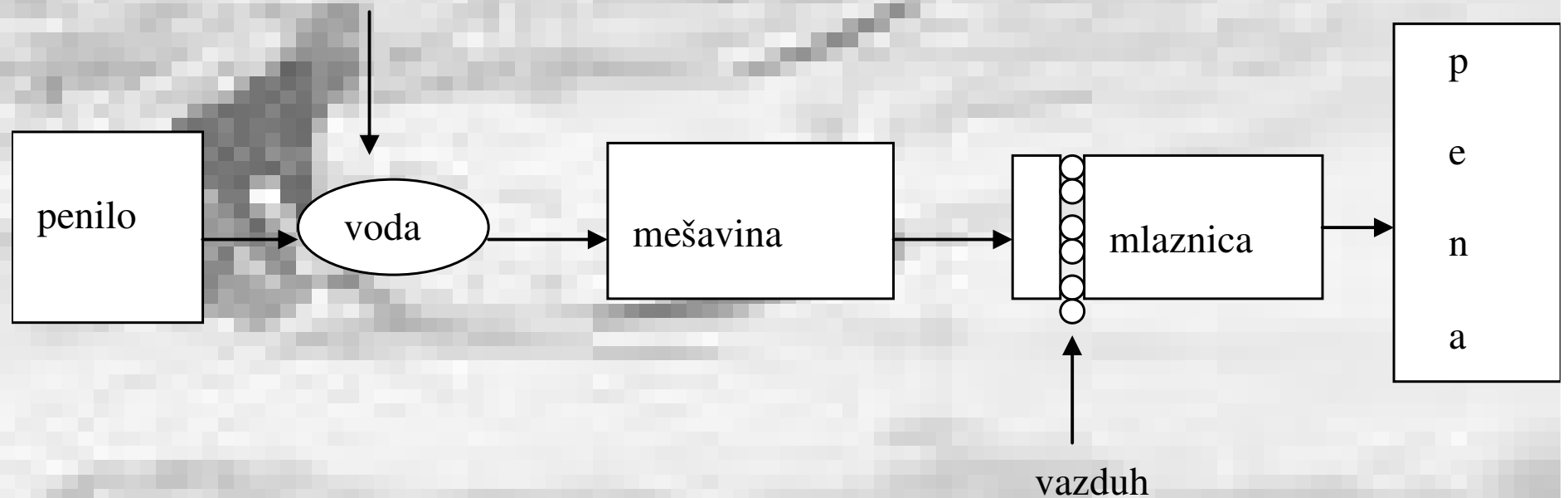
- Pri ulazu u mlaznicu, mešavina dobija vrtložno kretanje i ubrzanje. Vrtložno kretanje je omogućeno zavojno postavljenim usmeravanjem. Sužavanjem ulaznog preseka povećava se brzina kretanja mešavine. Zbog povećanja brzine, pritisak opada po Bernulijevoj jednačini, što omogućava usisavanje vazduha kroz koncentrične otvore na mlaznici.

Princip rada venturi cevi



- Usisana količina vazduha je relativno velika i služi za stvaranje mehurića, koji se stvaraju u delu od proširenja preseka do sita. Prolaskom kroz sito mlaznice, mehurići se homogenizuju, odnosno dobijaju veličinu koja penu čini homogenom i najprikladnijom za gašenje.
- Uobičajeni odnos mešavine je 1,5 do 6 % penila u vodi, (na primer 5 % znači da se mešavina vode i penila sastoji od 5 % penila i 95 % vode). U nekim specijalnim slučajevima mešavina može da bude i 10 % . U načelu za tešku penu dodaje se 3 - 6 % , a za višenamensku penu do 3 % penila.

Šema dobijanja mehaničke - vazdušne pene



Upenjivači ili penila

Vazdušno-mehanička pena koristi se za gašenje požara klasa A i B, a takođe i materijala koji se ne mogu gasiti vodom. Uobičajene vazdušno-mehaničke pene pripadaju veoma različitim klasama materija. Često su to mešavine raznih upenjivača. Mogu se razlikovati sledeći tipovi sredstava za upenjavanje na bazi:

- sapuna,
- lepka,
- saponina i
- proteina (belančevina).

Dobijanje vazdušno-mehaničke pene

- Vazdušno-mehanička pena se dobija u vazdušno penskim cevima (topovima). Koncentrat ili ekstrakt pene meša se strujom vode ejektorskim putem. Vazduh potreban za stvaranje pene usisava se sa vodom kroz otvore topa za penu. U zavisnosti od pritiska vode, sredstva za upenjavanje i vrste topa za penu, nastaje pena sa malim ili velikim brojem upenjavanja.

Vrste pene

Vazdušno-mehanička pena, prema broju upenjavanja deli se na:

- pene niske ekspanzije - **teške pene** (ekspanzioni odnos do 20, najčešće 10),
- pene srednje ekspanzije - **srednje pene** (ekspanzioni odnos između 21 i 200, najčešće oko 100) i
- pene visoke ekspanzije - **lake pene** (ekspanzioni odnos od 201 do 1000, najčešće 500).

Pene ekspanzionog odnosa preko 1000 tehnički mogu da se proizvedu, ali su se u praksi pokazale kao nekorisne.

Pene niske ekspanzije

- **Pene niske ekspanzije - teške pene,** najčešće se koriste za:
 - gašenje gorućih tečnosti,
 - gašenje čvrstih užarenih materija i
 - zaštitu zapaljenih objekata.

Primena teške pene

- Zbog poznatog efekta gašenja i širenja pene u odnosu na druga sredstva koja se mogu koristiti za gašenje požara klase "B" pena ima veliku prednost. Posebno je pena niske ekspanzije pogodna za gašenje velikih količina gorućih tečnosti, jer ima relativno veliki domet koji ostvaruju mlaznice, pa se požari mogu gasiti sa većih udaljenosti. Kod prekrivanja gorućih tečnosti, važno je da se prekrivanje penom obavi u jednom potezu, bez prekida postupka. Debljina nanešenog sloja pene na površini tečnosti koja obezbeđuje gašenje požara zavisi uglavnom od površine zapaljene tečnosti i vrste tečnosti.

Primena teške pene

- Upotreba pene niske ekspanzije kod požara klase "A" može da se primeni kada, nije preporučljiva ili nije dozvoljena upotreba vode. Takav je, na primer, slučaj kod požara na brodovima, upotreba vode dovela bi do natapanja drvene konstrukcije, do povećanja ukupne ploveće mase i do preopterećenja broda, odnosno došlo bi do njegovog potapanja. Takođe, kod požara koksa u zatvorenim prostorijama, u cilju izbegavanja velikih količina vodene pare, odnosno formiranja vodenih gasova, treba upotrebljavati penu niske ekspanzije. Istovremeno, pena deluje kod velikih užarenih masa izolujuće i obezbeđuje lagano hlađenje gorućih materija.

Primena teške pene

- Dobro svojstvo pene niske ekspanzije je takođe zaštita od sekundarnih, naknadnih požara.
- Veliku primenu ova pena je našla i kod prekrivanja poletno sletnih aerodromskih pisti kod prinudnih sletanja aviona.
- Penu niske ekspanzije ne trebe upotrebljavati kod požara gde voda prouzrokuje opasne hemijske reakcije, kod požara lakih metala, karbida, negašenog kreča, kod požara električnih postrojenja (izuzev specijalne pene) i kod požara uskladištene osetljive robe kojoj prisustvo vode može da nanese određena oštećenja.

Pene srednje ekspanzije - srednje pene

- **Pene srednje ekspanzije - srednje pene**, odgovaraju najčešćim područjima primene pene niske ekspanzije. Kako je ekspanzioni odnos 10 do 20 puta veći nego kod pene niske ekspanzije, pena srednje ekspanzije je primenljiva kod zapaljivih objekata kao i za zaštitu prostorija. Relativno mala gustina pene srednje ekspanzije omogućuje formiranje debelih slojeva pene, a time i oblaganje materije koja gori. Iako je manji, ipak se može računati da pena srednje ekspanzije ima jedan određeni efekat hlađenja.
- Pena sa ekspanzionim odnosom 75 može da se upotrebi i u slobodnom prostoru, dok pene sa ekspanzionim odnosom preko 150 nije moguće upotrebiti pri jačem vetru jer će istu oduvati.
- Granice upotrebe pene srednje ekspanzije iste su kao i za penu niske ekspanzije, ali ipak zbog manjeg sadržaja vode, srednja pena pravi manje štete pri gašenju požara.

Pene visoke ekspanzije - lake pene

- **Pene visoke ekspanzije - lake pene**, kao i ostale pene imaju izolaciono dejstvo, a pored toga i izraženu sposobnost da istiskuju vazduh i zauzimju njegovo mesto. Nanošenjem pene visoke ekspanzije na žarište požara dobar deo pene se raspada. Intenzitet raspadanja je uglavnom od 60 do 80 % . To raspadanje nije ni u kom slučaju nedostatak. Prilikom raspadanja iz pene se izdvaja voda. Količina vode izgleda mala, ali pri visokim temperaturama požara ona brzo isparava čime nastupa efekat ugušivanja.
- Nastala vodena para meša se sa vazduhom oslobođenim iz mehurića pene i razređuje ga za više od 60 %.
- Kako se kiseonik koji se nalazi u vazduhu, razređuje u istom procentu, nastaje jak efekat gušenja požara.

Lake pene

- Pena visoke ekspanzije može vrlo uspešno da gasi požare klase A i B, koristi se za gašenje požara u: električnim postrojenjima, gašenje velikih požara u fabrikama boja i lakova, gašenje požara na brodovima, gašenje požara u bibliotekama i arhivama i gašenje požara u rudnicima.
- U poređenju sa penom niske ekspanzije - teškom penom ona ima izvesne prednosti:
 - brzo puni celokupnu zapreminu prostorije, jer se lako razliva,
 - šteta izazvana vodom je minimalna zbog velikog ekspanzionog odnosa,
 - priprema pene visoke ekspanzije ne predstavlja teškoću i
 - sintetičke organske supstance koje stvaraju penu, u procesu višegodišnjeg čuvanja u obliku penila, suprotno belančevinastim penilima, ne podležu hemijskim promenama.

Nedostatci pene visoke ekspanzije - lake pene su sledeći:

- ona se lako oduva vetrom i uzlaznom strujom produkata sagorevanja,
- brzo se raspada u kontaktu sa suvim predmetima te je zbog toga potreban veliki utrošak pene, pa brzina dovođenja pene mora da je veća od brzine raspadanja i
- prilikom dovođenja pene u zonu gorenja, pomoću specijalnih najlonskih slivnika isti se u zoni požara usled visoke temperature istope pa onemogućuju uvođenje pene na željeno mesto.

5.6. Ispitivanje svojstva pene

- Da bi pena zadovoljila potrebne kriterijume za uspešno gašenje požara neophodno je da ima određene kvalitete. Sva bitna svojstva pene ispituju se tačno određenim metodama u okviru požarnih testova. Pene i penila se ispituju u laboratorijama, a sam kvalitet pene odnosno test gašenja na poligonima.
- U našoj zemlji pena, odnosno penila se ispituju standardom SRPS ISO 7203-1/2/3 iz 2002. god. [2,3,4].

Ispitivanje svojstva pene

Svojstva koja se testiraju navedenim metodama su sledeća:

- Stepen ekspanzije i mogućnost korišćenja sa morskom vodom,
- Stabilnost pene,
- Tolerancija koncentrata za penu na zamrzavanje i odmrzavanje,
- Fluidnost, tečljivost penila,
- Sedimentnost, procentualna količina nerastvorenih čestica u koncentratu za penu,
- pH vrednost,
- Površinski napon i
- Ispitivanje požarnih performansi.

5.7. Podela pena prema hemijskom sastavu penila

„Laka voda“

- „Laka voda“ je naziv za veoma efikasno penasto sredstvo za gašenje požara. Sastoji se od novih sintetičkih, veoma aktivnih jedinjenja, modifikatora vode. „Laka voda“ pliva na površini tečnih goriva. Istorija o razvitku „lake vode“ počinje sa pedesetih godina prošlog veka, kada su otkrivene vanredne sposobnosti praškastog kalijum- hidrogen- karbonata na području gašenja požara.
- „Laka voda“ predstavlja jedinjenje fluorkarbonske kiseline ili fluorsulfonske kiseline



Svojstva lake vode

- Laka voda pliva kao svaka pena.
- Testovi koji su izvedeni u Los Angelesu 1968, pokazali su da je laka voda tri puta efikasnija od proteinskih pena. Šest procentni rastvor koncentrata u vodi omogućuje da se dobije pena sa faktorom širenja 8 - 10 i stabilnošću 1,7-2 minuta.
- Pošto je pH jednako 4,2 (slabokisela sredina) posude za čuvanje rastvora za gašenje moraju biti zaštićene od korozije sa specijalnim lakom. Ova jedinjenja su hemijski stabilna.
- Efikasnost „lake vode“ zasniva se na tome da ona formira tanku opnu, zahvaljujući kojoj se zapaljena površina izoluje od kiseonika iz vazduha.

Primena "lake" vode

- „Laka voda“ se koristi samostalno ili u kombinaciji sa prahom za gašenje. Vatrogasna efikasnost „lake vode“ veća je od efikasnosti pena na bazi belančevina. „Laka voda“ je posebno efikasna za gašenje zapaljivih tečnih ugljovodonika. Za gašenje požara „lakom vodom“ koriste se ručni aparati i stacionarni uređaji kao i za penu.

Tehnički podaci o „Lakoj vodi“

Koncentracija	6 %
Zapreminska masa na 20 °C	1,02 - 1,03 kg/l
Kiselost na 20 °C	pH 4 - pH 5
Tačka tečenja	-10 °C
Stepen ekspanzije	8 - 10
Stabilnost pene (vreme poluraspada)	1,7 – 2 min

Proteinska penila

- Proteinska penila su viskozne tečnosti koje se dobijaju hidrolizom proteinskih materija.
- Nosioči belančevina su **albumini i globulini**. Materije koje sadrže te proteine su produkti mesne industrije (krv, kosti, rogovi, kopita, čekinje, dlaka, perje, riblje kosti i drugo). Sve su to belančevine netopive u vodi. Za proizvodnju penila moraju se biološkim cepanjem razložiti, hidrolizom u neutralnom mediju, hidrolizom u alkalnom mediju ili hidrolizom u kiselom mediju.

Aditivi

Da bi se poboljšao kvalitet pene, treba joj dodati:

- sredstva za stabilizaciju pene: soli, organske kiseline,
- sredstva za konzerviranje: fenole, natrijumbenzoat, soli kalaja,
- sredstva za povećanje tečljivosti: saponine,
- sredstva za zaštitu od visokih temperatura: etilen-glikol, butilen-glikol, metanol i td. i
- sredstva za sprečavanje raspadanja pene: uretane.

Fluoroproteinska penila

- Fluoroproteinska penila su kombinacija peneće proteinske baze i fluorisanih, površinski aktivnog sredstva. Potrebno je istaći da se ta penila ne mogu dobiti jednostavnim dodavanjem fluorisanog, površinski aktivnog sredstva standardnom proteinskom penilu.
- U specijalna svojstva fluoroproteinskih penila ubraja se velika sposobnost tečljivosti i izvanredna otpornost na kontaminaciju, kompatibilnost sa prahom za gašenje požara, mogućnost nanošenja punim mlazom i manji koeficijent nanošenja.

Tehnički podaci o (FP) penama

Koncentracija	3 %	6 %
Zapreminska masa na 20 °C	1,16±0,02 kg/l	1,15±0,02 kg/l
Kiselost na 20 °C	pH 7	pH 7
Tačka tečenja	-15 °C	-15 °C
Stepen ekspanzije	6 - 8	6 - 8
Stabilnost pene (vreme poluraspada)	15 – 20 min	15 – 20 min

Fluorproteinske pene koje stvaraju film (FFFP)

- Penila na bazi fluoroproteina koja stvaraju film, sastoje se od proteina s površinski aktivnim, fluorisanim supstancama koje stvaraju film, što ih čini sposobnim da na površini tečnosti koja gori, stvore tanak sloj i tako ne dozvole vraćanje plamena.
- Vazdušne pene proizvedene od FFFP penila brzo se šire i formiraju slojeve kao i druge pene, deluju kao površinska barijera toplotnom zračenju, stvaranju parne faze zapaljive tečnosti, upotrebljavaju se u slanoj i slatkoj vodi i biološki se razgrađuju.

Tehnički podaci o (FFFP) penama

Koncentracija	3 %	6 %
Zapreminska masa na 20 °C	1,04 - 1,17 kg/l	1,02 - 1,15 kg/l
Kiselost na 20 °C	pH 6,5 - 7,5	pH 6,5 - 7,5
Tačka tečenja	-15 °C	-15 °C
Stepen ekspanzije	6 - 100	6 - 100
Stabilnost pene (vreme poluraspada)	15 - 20 min	15 - 20 min

Sintetičke pene (S)

- Sintetička penila se sastoje od smeše ugljovodoničnih površinski aktivnih sredstava, a mogu da sadrže i fluorougljenike sa dodatkom sredstva za stabilizaciju. Te površinski aktivne materije dobijene su sintezom različitih supstanci kao što su alkoholi, amini i masne kiseline i čiji se ugljovodonikov lanac sastoji od 6 - 8 atoma ugljenika. Produkti koji nastaju tim reakcijama imaju sposobnost mnogo većeg smanjivanja površinskog napona vodenih rastvora nego produkti na proteinskoj osnovi. Ta njihova osnovna karakteristika omogućuje dobijanje pene čija su svojstva različita od svojstava proteinske pene.

Tehnički podaci o (S) penama

Koncentracija	3 %
Zapreminska masa na 20 °C	1,01 - 1,04 kg/l
Kiselost na 20 °C	pH 6,5 – 8,5
Tačka tečenja	-15 °C - -6 °C
Stepen ekspanzije	20 – 200 i \geq 200
Stabilnost pene (vreme poluraspada)	10 – 20 min

Fluorosintetičke pene (AFFF) i Halofom pene

- **Penila koja obrazuju vodeni film, fluorosintetička penila (AFFF),** sadrže duge lance ugljovodonika, uz dodatak fluora i imaju specijalne aktivne površinske karakteristike. Ova penila se doziraju vodi u količini 1,3 - 6 %, stvaraju penu koja izoluje vatru od vazduha, a pri raspadanju stvara film koji lebdi na površini tečnosti, hladi je i sprečava nastajanje parne faze.

AFFF penila

- AFFF pene imaju nisku viskoznost i karakteristiku brzog širenja po površinama. Nastali film se širi po površini tečnosti iako ona nije sva prekrivena penom. Ove pene se mogu upotrebljavati veoma uspešno za gašenje kombinovanih požara klasa A i B, za koje je potrebno duboko prodiranje vode u kombinaciji sa površinskim širenjem pene. AFFF penila su neotrovna i biološki razgradljiva.

Tehnički podaci o (AFFF) penama

Koncentracija	3 %	6 %
Zapreminska masa na 20 °C	1,04±0,02 kg/l	1,02±0,02 kg/l
Kiselost na 20 °C	pH 6,5 – 8,5	pH 6,5 – 8,5
Tačka tečenja	-15 °C	-10 °C
Stepen ekspanzije	6 - 100	6 - 100
Stabilnost pene (vreme poluraspada)	4 – 12 min	4 – 12 min

Halofom pene

- Posebnu grupu ovih pena čine **Halofom pene**. Baza je Fluorosintetičke pene AFFF sa dodatkom halonskih komponenti koje se koriste za gašenje požara u proizvodnji oružja, municije i eksploziva, na nuklearnim postrojenjima, avionima i petrohemijskoj industriji.

Alkoholne pene (AR)

- Alkoholna penila (AR), su specijalna vrsta vazdušnih penila koja se upotrebljavaju za gašenje požara alkohola, lakova i razređivača, metil-etil-ketona, acetona i td. jer su pri primeni otporna na mešanje i hemijsku reakciju sa ovim materijama.

Tehnički podaci o AR penama

Koncentracija	3 %	6 %
Zapreminska masa na 20 °C	1,05±0,02 kg/l	1,05±0,02 kg/l
Kiselost na 20 °C	pH 6,5 – 8,5	pH 6,5 – 8,5
Tačka tečenja	-10 °C	-15 °C
Stepen ekspanzije	6 - 100	6 - 100
Stabilnost pene (vreme poluraspada)	5 – 30 min	5 – 30 min

Hazmat pene

- Specijalne pene za gašenje požara i redukciju toksičnih para. Brzina raspadanja im je mala, a redukcija toksičnih para oko 90 %. Razlikuje se Hazmat I za redukciju alkalnih medija, Hazmat II za kisele medije i Univerzalni hazmat za aldehide, estre, ketone vinilchloride.

5.8. Sredstva za upenjavanje i aditivi za postizanje specijalnih efekata

- Za razliku od hemijskih pena, vazdušno-mehaničke pene se dobijaju iz dve grupe sredstava za upenjavanje:
 - na bazi belančevina (proteina) i
 - na bazi neproteinskih, sintetičkih supstanci.

- Osim toga, postoje smese penila, koje sadrže kako belančevinaste, tako i neproteinske supstance. U današnje vreme uglavnom se koriste belančevinasta penila, jer su biološki razgradljiva i ne zagađuju životnu sredinu. Ona imaju ograničenu moć formiranja pene. Zbog toga se ne koriste za dobijanje visokoekspanzione pene.

5.8.1. Belančevinaste materije

- Vazdušno-mehaničke pene na bazi belančevina dobijaju se iz životinjskih i biljnih belančevina. Obično su to koncentrovani rastvori proteina. U obzir dolaze rastvorljive i nerastvorljive belančevine s tim da se ove poslednje odgovarajućim procesom hidrolize dovedu u rastvoreni oblik.
- Delom sa fizičkog, a delom sa hemijskog stanovišta belančevine se dele na:
 - proste belančevine ili proteine i
 - složene belančevine ili proteide.

Belančevinaste materije

- U ovu grupu pogodnih sirovina spadaju: kosti, krv, perje, krljušt od ribe, vuna, rogovi i dlake.
- Iz gore izloženog vidi se da sklero proteini (kolagen, keratin, dlaka itd.) predstavljaju bazu belančevinastih penila, koji se koriste za gašenje požara.
- Za dobijanje ekstrakta sposobnog za upenjavanje belančevine se moraju razgraditi odnosno treba da se izvrši hidroliza.

Belančevinaste materije

- Hidroliza belančevina u neutralnom medijumu se vrši u proizvodnji lepka, tutkala od kostiju u procesu tretiranja vodenom parom. Pri ovome se kosti prvo drobe i odmašćuju benzinom. Posle odmašćivanja tretman se vrši sumpornom kiselinom i na kraju dejstvo vodenom parom pod pritiskom. U ovom stadijumu kolagen se razgrađuje u lepak. Nastali lepak se izvlači vrelom vodom i pri tom nastaju kaše sa sadržajem 10-18% lepka. Lepak predstavlja razgrađenu belančevinu koja se može upeniti.
- Hidroliza u kiselom medijumu npr. tretiranje brašna od rogova, vrši se sa azotnom kiselinom. Prestanak hidrolize vrši se neutralizacijom sa amonijakom.

5.8.2. Sredstva za konzerviranje

- Razgrađene belančevine predstavljaju pogodnu podlogu za razvoj mikroorganizama raznih vrsta. Zbog toga ekstrakt podleže opasnosti od bakterijskog raspadanja i buđavosti. Da bi se ovo sprečilo u rastvor se dodaju konzervansi. Dolaze u obzir anorganska jedinjenja kao npr. cink hlorid, soli bakra. Kao organska jedinjenja to su: fenoli, natrijum benzoat, i dr. Naročito su dobre neke natrijumove soli za usporavanje razvoja mikroba, koje pri prisustvu od 0.5% omogućavaju čuvanje ekstrakta penila u trajanju od nekoliko godina.

5.8.3. Sredstva za zaštitu od smrzavanja

- Potrošači pene traže postojanost ekstrakta na hladnoći. U tu svrhu se dodaju sredstva protiv smrzavanja. Uglavnom se dodaju K_2CO_3 , $MgCl$ i glikol. Dodavanje se može izvršiti pojedinačno ili kao mešavina. Dodatak glikola ne sme da premaši 30% zapremine što obezbeđuje otpornost na mraz na $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Glikol je zapaljiva supstanca i zbog toga se pri većim koncentracijama ne može koristiti za gašenje.

5.8.4. Sredstva za sprečavanje raspadanja pene prilikom prelaza preko goriva

- Proteinska pena sa dodatkom fluor-ugljovodonika postaje primenjiva za sve požare tečnih goriva. Ima veću toplotnu rezistenciju, a potapanje u gorivima im je slabije od čistih proteinskih pene. Fluor proteinske pene se sve više koriste, jer su odgovorile svrsi zaštite, a cena ovih pene je mnogo niža od sintetičkih sredstava koja se reklamiraju za gašenje požara.

5.9. Recikliranje penila

- Proizvođači penila, pri isporuci penila, daju definisan garantni rok u kom penilo zadržava svoja osnovna svojstva. Po isteku garantnog roka, penilo gubi svoje osnovne performanse i postaje nepouzđano za primenu. Razlozi zbog kojih penilo gubi svoja svojstva su: mikrobiološki procesi, raspadanje aktivnih supstanci u penilu, promena fizičko-hemijskih svojstava usled isparavanja i taloženja kao i neadekvatno skladištenje i mešanje nekompatibilnih penila. Obično je „životni vek“ penila 5 god. Neka penila imaju garanciju i 20 god., ali ona nisu danas prihvatljiva iz ekoloških razloga jer znači da su biološki nerazgradljiva ili teško razgradljiva.

5.9. Recikliranje penila

- U našoj zemlji ima više stotina tona penila kojima je istekao rok i koja su na granici upotrebe. Bacanje tih penila, nije dozvoljeno jer bi zagadila vodotokove. Takva penila se prvo ispituju i ako se pokažu kao nepouzdana vraćaju se na recikliranje proizvođaču. Proizvođač uz reciklirano penilo daje garanciju kao za novo penilo.

5.10. Kombinovano dejstvo pene sa prahom za gašenje

- Pena može da se upotrebi za gašenje požara u kombinaciji sa prahom. Pošto prah za gašenje ne ispoljava rashladno delovanje na proces gašenja postoji opasnost od ponovnog zapaljenja tečnih zapaljivih supstanci oko usijanih metalnih delova. Ovaj nedostatak pri velikim požarima uklanja se kombinovanim korišćenjem praha i pene, pri čemu prah brzo suzbija plamen, a pena koja se dovodi posle ovoga, sprečava ponovno zapaljenje.
- Za svaku vrstu pene treba ispitati kompatibilnost pene, odnosno primene penila sa određenom vrstom praha.