

ТЕХНОЛОШКИ ФАКУЛТЕТ-РО

са неограниченом солидарном одговорношћу

НОВИ САД

Примљено: 10. 11. 87			
Орг. јед.	Број	Прилог	Вредност
06	68		

UNIVERZITET U NOVOM SADU
TEHNOLOŠKI FAKULTET

Doktorska disertacija

FILTRACIJA KROZ SLOJ GRANULA OD
EKSPANDIRANOG POLISTIRENA
SA ELEMENTIMA PROJEKTOVANJA FILTRA

Mr. Radmila ŠEĆEROV-SOKOLOVIĆ

NOVI SAD, novembra 1987.

Zahvaljujem svojoj deci što su pristali da žive,
jedno vreme, bez mame!

I ovom prilikom želim da se zahvalim Radnoj organizaciji INA-OKI iz Zagreba na istrajnoj saradnji bez koje ovaj rad ne bi mogao biti realizovan.

Zahvaljujem takodje Radnoj organizaciji "Vodovod i kanalizacija", na stručnoj pomoći i obezbedjivanju radnih uslova tokom realizacije definisanog eksperimentalnog programa.

Sa posebnim zadovoljstvom želim da se zahvalim Prof. Milanu MITROVIĆU na bodrenju, razumevanju i svim pruženim sugestijama tokom izrade ovog rada.

Zahvaljujem se Prof. Dušanu SIMONOVIĆU i Prof. Miodragu TEKIĆU na sugestijama u završnoj obradi rada.

Zahvaljujem svim kolegama i koleginicama koji su na bilo koji način bili od pomoći pri realizaciji datog eksperimentalnog programa: Bobetu, Ružici, Milošu, Mirku, Ani, Ani, Bubi, Miši, Janji, Bobi, a naročito mojoj Vesni i Dudi.

R a d a

S A D R Ź A J

UVOD, CILJ I SADRŽAJ RADA

1.0.	STRUJANJE KROZ STACIONARAN SLOJ GRANULISANOG MATERIJALA	1
2.0.	KAPILARNI MODEL POROZNOG SLOJA	6
2.1.	KOEFICIJENT HIDRAULIČKOG OTPORA ZA POROZAN SLOJ	7
2.2.	KOEFICIJENT FILTRACIJE	8
2.3.	PROPUSLJIVOST ILI PERMEABILNOST POROZNOG SLOJA	8
3.0.	RASPODELA BRZINA FLUIDA U REAL-NOM SLOJU GRANULISANOG MATERIJALA	9
4.0.	KINETIKA FILTRACIJE	12
5.0.	MEHANIZMI FILTRACIJE	23
5.1.	TRANSPORTNI MEHANIZMI	23
5.1.1.	Cedjenje	24
5.1.2.	Hvatanje - presretanje	24
5.1.3.	Inercija	24
5.1.4.	Taloženje	25
5.1.5.	Difuzija	26
5.1.6.	Hidrodinamičke sile	27
5.1.7.	Ortokinetička flokulacija	28
5.1.8.	Kombinovani transportni mehanizmi	28
5.2.	MEHANIZMI PRIVLAČENJA	28
5.2.1.	Električna duploslojna interakcija	28
5.2.2.	Van Der Waalsove sile	29
5.2.3.	Uzajamna adsorpcija	29
5.3.	MEHANIZMI OTKIDANJA	30

6.0.	EKSPANDIRANI POLISTIREN	31
6.1.	KARAKTERISTIKE STRUKTURE SLOJA EKSPANDIRANOG POLISTIRENA	31
7.0.	EKSPERIMENTALNI PROGRAM	46
8.0.	EKSPANDIRANI POLISTIREN KAO FILTARSKA ISPUNA	47
8.1.	STRUKTURA I IZGLED GRANULA EKSPANDIRANOG POLISTIRENA	47
9.0.	SPECIFIČNOST STRUKTURE SLOJA EKSPANDIRANOG POLISTIRENA	56
9.1.	SPECIFIČNOST STRUKTURE SLOJA U FUNKCIJI SABIJENOSTI ISPUNE	56
9.2.	SPECIFIČNOST STRUKTURE SLOJA U FUNKCIJI GUSTINE EKSPANDIRANOG POLISTIRENA	60
9.3.	PRORAČUN POROZNOSTI NESABIJENE ISPUNE	61
9.4.	MONODISPERZNE FRAKCIJE GRANULISANOG EPS (MD-I)	63
9.4.1.	Analiza zavisnosti osobina monodisperznih ispuna	67
9.4.2.	Specifičnost monodisperznih ispuna	72
9.5.	KARAKTERISTIKE POLIDISPERZNIH ISPUNA EKSPANDIRANOG POLISTIRENA	74
9.5.1.	Analiza zavisnosti osobina polidisperznih ispuna	96
9.5.2.	Specifičnost polidisperznih ispuna	100
10.0.	EKSPERIMENTALNI UREDJAJ FILTAR F-EPS/04	104
10.1.	TEHNIČKI OPIS EKSPERIMENTALNIH UREDJAJA	104
10.2.	PRINCIP RADA FILTARSKOG UREDJAJA	108
10.3.	SCALE - UP ZA APARATE SA NASUTIM SLOJEM	110
11.0.	KOMPARATIVNA ANALIZA FILTARSKIH ISPUNA	114
12.0.	FENOMENI KLASIRANJA PRI PRANJU EKSPANDIRANOG POLISTIRENA	120
12.1.	TEHNIKA PRIPREME ISPUNE ZA OPTIMALAN REŽIM RADA	120
12.2.	FENOMENI KOJI PRATE KLASIRANJE I PRANJE EKSPANDIRANOG POLISTIRENA	124
12.3.	UTICAJ ZIDA UREDJAJA NA FENOMENE KOJI PRATE KLASIRANJE I PRANJE EKSPANDIRANOG POLISTIRENA	130
13.0.	HIDRODINAMIKA STRUJANJA KROZ SLOJ EKSPANDIRANOG POLISTIRENA	131
13.1.	HIDRODINAMIČKE VELIČINE	131

13.2.	UTICAJ SABIJENOSTI ISPUNE NA HIDRODINAMIKU STRUJANJA KROZ SLOJ EKSPANDIRANOG POLISTIRENA	147
13.3.	UTICAJ GUSTINE EKSPANDIRANOG POLISTIRENA NA HIDRODINAMIKU STRUJANJA KROZ SLOJ	150
13.4.	UTICAJ EKVIVALENTNOG PREČNIKA ISPUNE NA HIDRODINAMIKU STRUJANJA KROZ SLOJ EKSPANDIRANOG POLISTIRENA	155
13.5.	UTICAJ KOEFICIJENTA UNIFORMNOSTI EKSPANDIRANOG POLISTIRENA NA HIDRODINAMIKU STRUJANJA KROZ SLOJ	160
13.6.	UTICAJ OBLIKA GRANULE NA HIDRODINAMIKU STRUJANJA KROZ SLOJ EKSPANDIRANOG POLISTIRENA	166
13.7.	UTICAJ ZIDA UREDJAJA NA HIDRODINAMIKU STRUJANJA KROZ SLOJ EKSPANDIRANOG POLISTIRENA	169
14.0.	FILTRACIJA KROZ SLOJ EKSPANDIRANOG POLISTIRENA	172
14.1.	MODELNI RASTVOR GVOŽDJA	173
14.2.	ANALIZA UTICAJA OSOBINA EKSPANDIRANOG POLISTIRENA NA FILTRACIJU	180
14.3.	UTICAJ SABIJENOSTI ISPUNE NA FILTRACIJU KROZ SLOJ EKSPANDIRANOG POLISTIRENA	181
14.4.	UTICAJ GUSTINE ISPUNE NA FILTRACIJU KROZ SLOJ EKSPANDIRANOG POLISTIRENA	184
14.5.	UTICAJ EKVIVALENTNOG PREČNIKA ISPUNE NA FILTRACIJU KROZ SLOJ EKSPANDIRANOG POLISTIRENA	187
14.6.	UTICAJ KOEFICIJENTA UNIFORMNOSTI NA FILTRACIJU KROZ SLOJ EKSPANDIRANOG POLISTIRENA	190
14.7.	MOGUĆNOST POVEĆANJA KAPACITETA FILTRA F-EPS/04	195
14.8.	UTICAJ ZIDA UREDJAJA NA FILTRACIJU KROZ SLOJ EKSPANDIRANOG POLISTIRENA	200
15.0.	PRILOG PROUČAVANJU KINETIKE FILTRACIJE	202
15.1.	KOMPARATIVNA ANALIZA METODA ZA PROUČAVANJE KINETIKE FILTRACIJE	202
	ZAKLJUČCI	220
	NOMENKLATURA	
	LITERATURA	

U V O D, C I L J I S A D R Ž A J R A D A

U tehnologiji obrade voda široku primenu imaju filtri sa granulisanim slojem. Kao tradicionalna ispuna koristi se kvarcni pesak.

Kvarcni pesak kao teška ispuna, zahteva konstrukciona rešenja filtra koja imaju drenažnu, noseću ploču i noseći sloj šljunka. Drenažni sistem pruža veliki otpor toku kako pri radu, tako i pri pranju filtra. Filtri sa kvarcnim peskom peru se protivstrujno uz dizanje ispune do 50% debljine sloja, što uslovljava veliku potrošnju energije. Prilikom pranja dolazi do nepoželjnog klasiranja ispune svrha ka dnu filtra, tako što se sloj najsitnijih čestica formira u gornjem delu ispune pružajući veliki otpor toku. Tokom eksploatacije ovaj efekat je još više potenciran stvaranjem sitnijih čestica abrazijom materijala.

Problemi u eksploataciji filtra sa monomedijumskom, teškom ispunom prevazilaze se, delimično, uvodjenjem višemedijumske filtracije. Kod višemedijumske filtracije efekat nepoželjnog klasiranja je, takodje, prisutan, no ispoljava se u uskom monomedijumskom sloju, što predstavlja poboljšanje u odnosu na monomedijumsku filtraciju.

Primenom ekspandiranog polistirena kao filtarske ispune postiže se potpuna isklasiранost s vrha ka dnu filtra, po opadajućoj veličini granula. Dosadašnja istraživanja (152,153,207-217) ukazuju da se primenom ekspandiranog polistirena (EPS) kao filtarske ispune postižu znatne prednosti u odnosu na klasična rešenja:

- jednostavnija konstrukcija i smanjenje gabarita filtarskog uređaja
- ne koristi se energija za pranje filtra
- smanjuju se gubici pritiska kroz ispunu
- povećava se dužina filtarskog ciklusa

Medjutim, publikovani radovi ne daju, u dovoljnoj mери, kvantitativnih pokazatelja koji bi u potpunosti potvrdili prednosti primene EPS u odnosu na kvarcni pesak kao filtarsku ispunu u procesima prečišćavanja vode filtracijom.

Postoji potpuno odsustvo istraživanja značaja uticaja fizičko - hemijskih karakteristika EPS na fenomene strujanja tečnosti i filtracije.

Isto tako nedostaju istraživanja kvantitativnog uticaja stepena isklasiранosti EPS na strujanje tečnosti i filtraciju. Nepoznati su pokazatelji i merila potpune isklasiранosti EPS ispune kao i postupak dovodjenja ispune u stanje optimalne isklasiранosti.

Poznato je da je EPS raspoloživ u širokom intervalu veličina granula ($d = 0,3 - 7,0$ mm), što omogućava formulaciju gransastava širokog opsega ekvivalentnih prečnika ispu-
ne i koeficijenta uniformnosti. Međutim, praktično su neis-
traženi fenomeni uticaja gransastava na hidrodinamiku i fil-
traciju kao i na strukturu i osnovne osobine filtarske ispu-
ne.

Radovima Žurbe (206-217) uočen je fenomen prirasta debljine ispu-
ne pranjem koji je od bitnog značaja pri gravi-
tacionoj filtraciji, no nije istražen njegov uticaj kako na
osnovne karakteristike ispu-
ne tako ni na strujanje tečnosti
i filtraciju kroz EPS.

Na osnovu gore navedenih činjenica postavljen je
eksperimentalni program sa ciljem da se ispita uticaj osnov-
nih karakteristika ekspandiranog polistirena kao filtarske
ispu-
ne na efikasnost filtracije. Isto tako cilj ovog rada je
bio da na osnovu realizovanih istraživanja definiše optimal-
ni kvalitet ekspandiranog polistirena za primenu u procesima
filtracije.

Da bi se izvršio postavljeni cilj rada koncipiran je
eksperimentalni program koji je realizovan kroz sledeći sad-
ržaj:

- proučavanje prednosti primene ekspaniranog polistirena kao filtarske ispune u odnosu na kvarcni pesak (eksperimenti radjeni pri jednakom ekvivalentnom prečniku definisanih ispuna i stanju isklasisiranosti karakterističnom za svaku ispunu posebno)
- istraživanje uticaja gustine EPS, kao osnovne osobine, koja jednoznačno određuje kvalitet ispune, na strukturu i osobine sloja, na hidrodinamičke veličine pri strujanju tečnosti kroz ispunu, kao i na efikasnost filtracije na primeru deferizacije
- istraživanje fenomena i zakonitosti prilikom klasiranja pri pranju filtarske ispune
- proučavanje uticaja ekvivalentnog prečnika i koeficijenta uniformnosti EPS kao filtarske ispune (program realizovan u domenu proizvodnih mogućnosti EPS u datom periodu) na strujanje i filtraciju
- proučavanje uticaja stepena sabijenosti ispune kao i utvrđivanje značaja prirasta debljine ispune pranjem pri gravitacionoj filtraciji na strujanje i filtraciju (sabijeno "S" i nesabijeno "N" stanje). Definisana je veličina "poroznost nesabijene ispune ϵ_N " kao merilo uticaja prirasta debljine na karakteristike sloja i dat način proračuna iste

- pored navedenih istraživanja radjeno je i na unapredjivanju metoda i načina proučavanja kinetike filtracije. Predloženo je rešenje segmentnog filtra, čija primena omogućava kvantitativno utvrđivanje distribucije taloga po dubini filtarske ispune.

1.0. STRUJANJE KROZ STACIONARAN SLOJ GRANULISANOG MATERIJALA

Strujanje kroz porozan sloj, osim što se javlja u prirodi, pri strujanju podzemnih voda kroz sloj zemljišta različitih karakteristika, zastupljen je i kod velikog broja procesnih uređaja i tehnologija.

Granulisani sloj javlja se u svojstvu katalizatora, nosećeg kontaktnog sloja, filtarske ispune...

Značaj upoznavanja fenomena i zakonitosti pri strujanju kroz porozan sloj je ogroman. Povrh toga, znanja i iskustva, u ovom trenutku, nisu dovoljna da se odgovori na niz pitanja iz prakse.

Osnovni uzroci su ti što je strujanje kroz poroznu sredinu kombinovan slučaj (7)

- opticanja tečnosti oko tela (lopte)
- proticanja tečnosti kroz kanale (pore)

Postavlja se pitanje usvajanja karakterističnih veličina za svaki od navedenih primera.

Ako se problemu pridje kao slučaj opticanja tečnosti oko lopte (zrna), tada se za karakterističnu geometrijsku

veličinu može uzeti prečnik zrna. No, ovo rešenje je veoma ograničeno, zadovoljava slučajeve monodisperznog sloja zrna oblika lopte.

U slučaju proticanja tečnosti kroz kanale, kao karakteristična geometrijska veličina može se usvojiti ekvivalentni prečnik pore. Neminovno se mora uključiti u model složenost proticanja između zrna, aktivne površine a i poroznosti ϵ .

Po analogiji određivanja ekvivalentnog prečnika kanala koji nisu kružnog poprečnog preseka, može se doći do relacije (7,9)

$$d_{EK} = \frac{4\epsilon}{a} = \frac{4\epsilon}{a_0(1-\epsilon)} \quad (1)$$

Ne poznavajući dovoljno režim strujanja tečnosti kroz porozan sloj, tj. profil i raspored brzina po poprečnom preseku i dubini sloja, postavlja se pitanje i vrednosti brzina koje se mogu uvrstiti u kriterijalne jednačine.

Uključujući sve specifičnosti sloja, predložen je oblik kriterijuma Re (nazvan u sovjetskoj literaturi ekvivalentni Re , u ovom radu obeležen Re_E) (7,9)

$$Re_E = \frac{v_E d_{EK}}{\nu} \quad (2)$$

gde se za karakterističnu brzinu uzima relacija

$$v_E = \frac{v}{\varepsilon} \quad (3)$$

ili

$$Re_E = \frac{4v}{a\varepsilon} \quad (4)$$

ili u obliku (45)

$$Re_E = \frac{Re}{1-\varepsilon} = \frac{d_{EK} v \rho'}{\mu (1-\varepsilon)} \quad (5)$$

ili (1)

$$Re_E = \frac{v d_E \rho'}{6\mu\phi (1-\varepsilon)} \quad (6)$$

gde je ϕ uključen kao uticaj oblika zrna.

Postojeće relacije između karakterističnih veličina omogućavaju prelaz iz jednog oblika Re_E u druge (7)

$$a = a_0 (1-\varepsilon) \quad (7)$$

$$a_0 = \frac{6}{d_E} \quad (8)$$

Prva matematička relacija koja opisuje zbivanja strujanja kroz porozan sloj, datira sa kraja prošlog veka, poznata kao Darsijev zakon (188)

$$Q = - K_P S (P_2 - P_1 + \rho'gh) / h' \quad (9)$$

ili (7)

$$\frac{\Delta P}{L} = Av \quad (10)$$

ili (45)

$$v = - \frac{K \Delta P}{\mu L} \quad (11)$$

Može se ukazati da je relacija potvrđena nizom eksperimenata velikog broja istraživača. Utvrđeno je, kasnije, da Darsijev zakon opisuje strujanje u poroznom sloju u određenom opsegu vrednosti v , tj. u oblasti dominantnog delovanja viskoznih sila, dok za oblast istovremenog delovanja viskoznih i inercionih sila Darsijev zakon treba dopuniti članom v^2 (7)

$$\frac{\Delta P}{L} = Av + Bv^2 \quad (12)$$

Kontraverzni su podaci o vrednostima Re_E koji definišu oblast viskoznih sila, tj. prelaz u oblast viskoznih + inercionih sila. (7,9)

Niz kasnijih relacija, matematičkih modela, više bi se mogli smatrati modifikacijom, nadgradnjom ili usavršavanjem Darsijevog zakona, nego fundamentalno novim pristupom.

Postojeće matematičke modele moguće je grupisati u (1,4,5,6,8,10,45,200,201,202)

- geometrijske modele
- statističke modele

Geometrijski modeli sa nizom podgrupa, uvode preko raznih parametara uticaj strukture i karakteristike poroznog sloja, koji su najčešće formirani nizom eksperimenata (124, 125, 127).

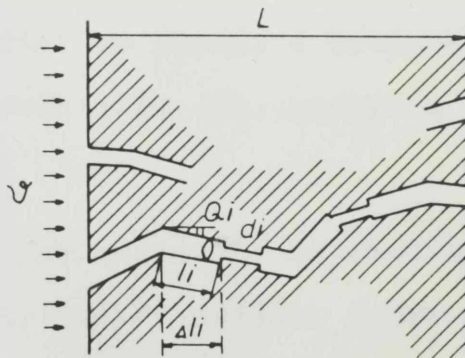
Kao najznačajniji je Carman-Kozeny model (kapilarni model), (7,9).

Statistički modeli, uticaj strukture sloja uvode iz relacija dobijenih drugim putevima osim eksperimentalnim. (81, 196, 197, 221).

2.0. KAPILARNI MODEL POROZNOG SLOJA

Carman-Kozeny su predložili model strujanja kroz porozan sloj kao slučaj proticanja tečnosti kroz snop različito orijentisanih kanala (kapilara-pora), gde je suma površina zidova kapilara u jedinici zapremine ekvivalentna aktivnoj površini a , a zbir poprečnih preseka odgovara poroznosti ε (7,39,43,44,45).

Takvim pristupom Carman-Kozeny uvode novu veličinu "tortuosity" koja opisuje orijentisanost kapilara. Šematski prikaz kapilarnog modela dat je na slici 1., sa koje se vidi da je odnos $l_i/\Delta L_i = 1/\cos\theta_i = T$ i odgovara veličini "tortuosity".



Slika 1. Kapilarni model strujanja kroz porozan sloj

Carman-Kozenyjev model može se prikazati jednačinom

$$\frac{\Delta P}{L} = K_O \bar{T}^2 \mu \frac{a^2 v}{\epsilon^3} = K_{KK} \frac{a^2}{\epsilon^3} v \quad (13)$$

gde je

$$K_O \bar{T}^2 = K_{KK}$$

veličina K_{KK} odgovara Carman-Kozenyjevoj konstanti. Nizom eksperimenata, kao i računskim putem predlažu se vrednosti veličina

$$\bar{T} = 1/\cos 45 = 1,50 \quad \text{i} \quad K_{KK} = 4,5$$

Može se ukazati ograničena važnost kapilarnog modela. Vrednosti odgovaraju u slučaju monodisperznog sloja kada su granule bliske sferi. Za polidisperzni sloj, kao i za granule proizvoljnog oblika slaganja sa kapilarnim modelom su loša.

Shodno kapilarnom modelu može se definisati koeficijent hidrauličkog otpora za porozan sloj.

2.1. KOEFICIJENT HIDRAULIČKOG OTPORA ZA POROZAN SLOJ

Strujanje tečnosti kroz pore je laminarno što uslovljava delovanje viskoznih sila i definiše oblik zavisnosti

$f_{e_E} = f(Re_E)$ izrazom (4,7,9,45,127)

$$f_{e_E} = \frac{8K_{KK}}{Re_E} \quad (14)$$

Za oblast delovanja viskoznih + inercionih sila važi oblik

$$f_{e_E} = \frac{8K}{Re_E} + K_i \quad (15)$$

2.2. KOEFICIJENT FILTRACIJE

Koeficijent filtracije definisan je kao brzina pri kojoj je gubitak pritiska po jedinici dužine jednak 1 (13).
Shodno jednačini (10)

$$K_F = \frac{1}{A} \quad (16)$$

2.3. PROPUSTLJIVOST ILI PERMEABILNOST POROZNOG SLOJA

Još je Darsi pokušao da objasni prirodu konstante K_P iz jednačine (13).

Permeabilnost zavisi kako od prirode ispune tako i od prirode tečnosti koja struji kroz nju (13,43-46,126,166,188).

Postoji veliki broj relacija koje opisuju permeabilnost. Najčešće korišćena sledi iz Darsijevog zakona (4,13)

$$K_P = \frac{K_F \mu}{\rho g} \quad (17)$$

3.0. RASPODELA BRZINA FLUIDA U REALNOM SLOJU GRANULISANOG MATERIJALA

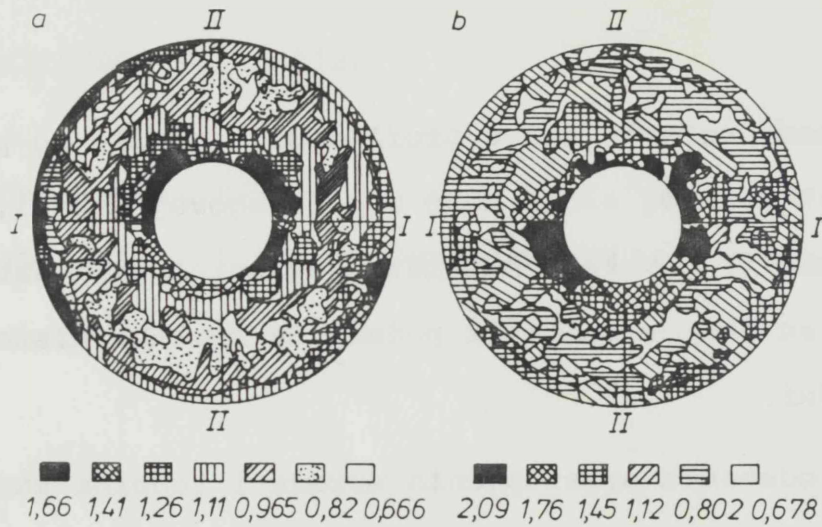
Veoma se malo zna o profilu brzina kako po poprečnom preseku nasutog sloja tako i po njegovoj dubini. Ne postoje, do sada, ni pokušaji matematičkog opisivanja datih osobina, dok su eksperimentalni podaci iz realnih sistema više nego oskudni.

U odsustvu pristupačnih metoda i tehnika za merenje i praćenje realnih brzina u pori nasutog sloja, moraju se koristiti neki načini koji oponašaju zbivanja u poroznoj sredini.

Postoji predloženo nekoliko adsorpcionih metoda i tehnika koje mogu dati informacije o prirodi toka (5,6,7,8,9). Predlaže se i metoda elektrohidrodinamičke analogije (17,139).

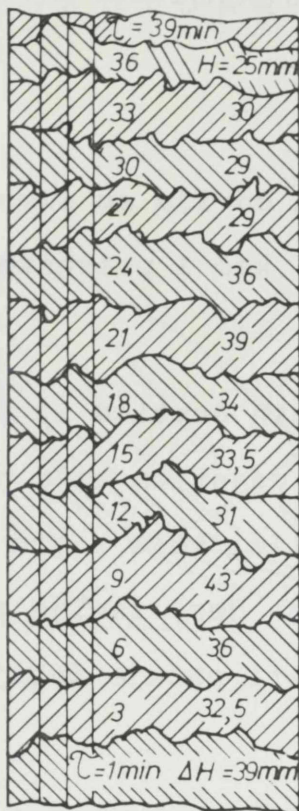
Može se ukazati na tvrdnju nekolicine autora da je periferna brzina, tj. brzina uza zid uređaja, za 1,5-2 puta veća nego u središnjem delu, što eksperimentalno nije dokazano. Kako je raspored pora i kanala neuredjen to i raspored brzina po poprečnom preseku ne može imati neke uredjene zone toka. Na slici 2. dat je plan raspodele brzina u

reaktoru $D_1 = 185$ [mm], $D_2 = 62$ [mm] (7,9)



Slika 2. Plan raspodele brzina u realnom reaktoru

Istraživanjem strujanja kroz porozan sloj praćenjem sorpcionog fronta, došlo se do zaključka da se posle kratkog uhadavanja, u početku, kroz sloj realizuje režim paralelnog prenošenja, u kome nije uočljivo da je periferna brzina bitno veća od središnje, što je prikazano na slici 3 (7,9,132).



Slika 3. Razvoj sorpcionog fronta

4.0. K I N E T I K A F I L T R A C I J E

Obrada vode filtracijom odvija se izmenom hidrodinamičkog otpora filtarske ispune, kao i prirastom gubitka pritiska.

Zadržavanje suspendovanih čestica iz vode, na zrnu filtarske ispune, odvija se pod dejstvom sila privlačenja. Pod uticajem hidrodinamičkih sila, koje rastu tokom vremena, struktura taloga se ruši i jedan deo, ranije zadržanih čestica, otkida se te tokom tečnosti putuje dublje u filtarsku ispunu.

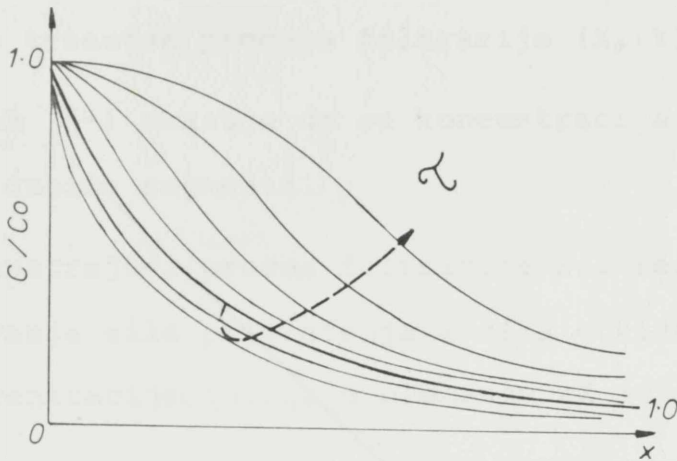
Efekat prečišćavanja vode, u svakom elemntarnom sloju ispune, može se posmatrati kao celovit proces istovremenog privlačenja i otkidanja čestica taloga. Prečišćavanje traje dogod je efekat privlačenja čestica intenzivniji od efekta otkidanja.

Pojava privlačenja i otkidanja taloga definiše tok procesa filtracije po dubini ispune, u funkciji vremena.

Grafički prikaz kinetike filtracije daje se na slici 4 (85-89).

Vreme za koje je ispuna u stanju da daje zadovoljavajući kvalitet filtrata, naziva se dužina filtarskog ciklusa

ili vreme trajanja zaštitnog dejstva filtra.



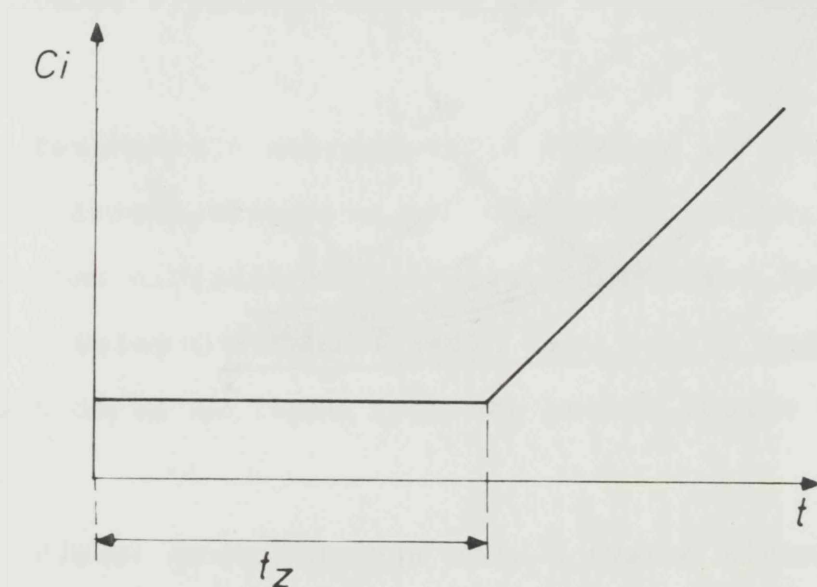
Slika 4. Kinetika prečišćavanja vode filtracijom

Osnovni zadatak proučavanja zakonomernosti procesa filtracije može se realizovati određivanjem vremena trajanja zaštitnog dejstva filtra.

Proučavanje filtracije najpouzdanije je metodom tehnološkog modelovanja na model uređajima određenih gabarita.

Matematičko modelovanje, zbog kompleksnosti problematike, još uvek nema veliki značaj u filtraciji.

Vreme zaštitnog dejstva filtra definisano je kvalitetom filtrata, (slika 5)



Slika 5. Promena kvaliteta filtrata u vremenu

Proces prečišćavanja vode, tokom filtracije, može se opisati na sledeći način (134-138)

- na model filtru se uoči elementarni sloj ispune ΔX na dubini X od površine. U elemenat ΔX ulazi voda koncentracije taloga C_1 , a iz njega izlazi voda koncentracije taloga C_2 . Smanjenju koncentracije taloga u elementarnom sloju ΔX odgovara izraz -

$$\Delta C = - (C_2 - C_1) = - \frac{\sigma C}{\sigma X} \Delta X \quad (18)$$

Gradijent koncentracije $\frac{\sigma C}{\sigma X}$, za svaki segment, zavisi od dva parametra

1. na kom je rastojanju od vrha ispune
2. koji je trenutak procesa filtracije (X, t) .

Znak (-) ukazuje da se koncentracija smanjuje sa povećanjem dubine segmenta.

Posmatrajući proces filtracije kao rezultat istovremenog delovanja sila privlačenja i sila otkidanja, smanjenje koncentracije taloga u elementu ΔX može se prikazati izrazom

$$\Delta C = \Delta C_1 - \Delta C_2 \quad (19)$$

gde je:

- ΔC_1 - smanjenje koncentracije uticajem privlačenja
- ΔC_2 - povećanje koncentracije uticajem otkidanja taloga

Smanjenje koncentracije pod uticajem sila privlačenja taloga proporcionalno je srednjoj koncentraciji i debljini sloja

$$\Delta C_1 = bC\Delta X \quad (20)$$

Povećanje koncentracije uticajem otkidanja taloga proporcionalno je količini ranije prikupljenog taloga ($\rho\Delta X$), kao i obrnuto proporcionalno količini vode koja u jedinici

vremena prodje kroz elementaran sloj

$$\Delta C_2 = a' \frac{\rho^{\circ} \Delta X}{v} \quad (21)$$

iz jednakosti jednačina (18) i (19) dobija se relacija

$$- \frac{\sigma C}{\sigma X} = bC - \frac{a'}{v} \rho^{\circ} \quad (22)$$

Jednačina (22) predstavlja osnovnu teorijsku relaciju koja opisuje specifičnost procesa filtracije.

Druga jednačina, koja dopunjava jednačinu (22), predstavlja bilansnu jednačinu. Masa materijala zadržana elementarnim slojem sa jediničnom površinom, u jedinici vremena, definisana je

$$\Delta Q = v \Delta C = - v \frac{\sigma C}{\sigma X} \Delta X \quad (23)$$

Masa materijala zadržana elementarnim slojem u jedinici vremena data je izrazom

$$\Delta Q = \frac{\sigma \rho^{\circ}}{\sigma t} \Delta X \quad (24)$$

Iz jednakosti (23) i (24) sledi

$$\frac{\sigma \rho^{\circ}}{\sigma t} = - v \frac{\sigma C}{\sigma X} \quad (25)$$

Jednačina (25) predstavlja jednačinu bilansa mase za proces filtracije.

Diferenciranjem jednačine (22) po vremenu i uključujući (25) dobija se

$$\frac{\sigma^2 C}{\sigma X \sigma t} + a' \frac{\sigma C}{\sigma X} + b \frac{\sigma C}{\sigma t} = 0 \quad (26)$$

Rešenje jednačine (26) je oblika beskonačnog reda i teško se može iskoristiti za praktične proračune.

Moguće je pojednostaviti proračune uvodeći u jednačinu (26) niz kriterijuma sličnosti.

Ako je $C/C_0 = y$

tada

$$\frac{\sigma C}{\sigma t} = C_0 \frac{\sigma y}{\sigma t} ; \frac{\sigma C}{\sigma X} = C_0 \frac{\sigma y}{\sigma X} ; \frac{\sigma^2 C}{\sigma X \sigma t} = C_0 \frac{\sigma^2 y}{\sigma X \sigma t} \quad (27)$$

Zamenom u (26) dobija se

$$\frac{\sigma^2 y}{\sigma X \sigma y} + a' \frac{\sigma y}{\sigma X} + b \frac{\sigma y}{\sigma t} = 0 \quad (28)$$

Uvodeći dalje nove bezdimenzione parametre

$$X' = b \quad T' = \frac{t}{a} \quad (29)$$

tada jednačina (28) dobija oblik

$$\frac{\sigma^2 Y}{\sigma X \sigma T} + \frac{\sigma Y}{\sigma X} + \frac{\sigma Y}{\sigma T} = 0 \quad (30)$$

Ako koeficijenti b i a' mogu biti definisani veličinama

$$b = \beta v^{\epsilon_1} d^{\lambda_1} \quad (31)$$

$$a = \alpha v^{\epsilon_2} d^{\lambda_2}$$

tada

$$X^{\bullet} = \beta \frac{x}{v^{0,7} d^{1,7}} ; T^{\bullet} = \alpha \frac{tv}{d} \quad (32)$$

Kako α i β vođe računa o osobini tečnosti tj. suspenzije, ako se uzme da će svi ogledi biti radjeni suspenzijom iste prirode tada je $\alpha = \beta = 1$

$$X' = \frac{x}{v^{0,7} d^{1,7}} \quad (33)$$

$$T' = \frac{tv}{d}$$

Na osnovu eksperimenata došlo se do medjusobne zavisnosti X' i T'

$$X' = kT' + X'_0 \quad (34)$$

Na osnovu svega može se dobiti izraz za zaštitno vreme filtra

$$t_z = \frac{1}{K'} \left(\frac{x}{v^{1,7} d^{0,7}} - \frac{x'_0 d}{v} \right) \quad (35)$$

Iz relacije (35) vidi se da povećanjem brzine filtracije dolazi do skraćanja filtarskog ciklusa, kao i povećanjem dimenzija čestica.

Tokom trajanja filtarskog ciklusa dolazi do promene ukupnog gubitka pritiska tj. menja se tempo prirasta gubitka pritiska.

Na osnovu relacija

$$i = 5,2 \cdot 10^{-3} \eta v \omega^2 / n^3 \quad (36)$$

$$i/i_0 = (\omega/\omega_0)^2 (n_0/n)^2 \quad (37)$$

$$i = i_0 (n_0/n)^3 \quad (38)$$

$$H = \int_0^L i \, dx \quad (39)$$

$$H = i_0 \int_0^L \frac{dx}{|1 - \rho/n_0 \gamma|^3} \quad (40)$$

kao i na osnovu već pomenutih bezdimenzionih veza i veličina



$$A' = \frac{\rho^{\circ}}{n_o \gamma} = \frac{\Delta n}{n_o}$$

moгуće je doći do izraza

$$h = H - H_o = i_o \sum_{n-1}^n \left| \frac{\Delta X}{(1-A'_{\Phi})^3} - \Delta X \right| \quad (41)$$

$$h/t = i_o F(A') a'/b \quad (42)$$

koji omogućavaju odredjivanje vremena iskorišćenja maksimalne visine nadfiltarskog prostora tj. dostizanja maksimalnog gubitka pritiska

$$t_H = (H - H_o) (h/t) \quad (43)$$

$$t_H = \frac{H - H_o}{H_o F(A')} \frac{b}{a'} x \quad (44)$$

Veliki broj autora (19,20,91-101) proveravao je slaganje izračunatih vrednosti t_z i t_H sa eksperimentalno odredjenim. Odstupanja se kreću u granicama 10 - 30%.

Značaj teorije Minca je u mogućnosti prognoziranja osnovnih projektnih parametara i ocene njihovog uticaja na t_z i t_H (134-138).

Moguće je odabrati dva radna parametra od tri (brzina filtracije, prečnik čestica, debljina sloja) na osnovu

postojećih eksperimenata na datoj ispuni.

Teorijom Minca dati su kriterijumi sličnosti

$$b = b^* (v^*/v)^{0,7} (d^*/d)^{1,7} \quad (45)$$

$$a'/b = (a'/b)^* (v/v^*)^{1,7} (d/d^*)^{0,7} \quad (46)$$

$$1-A' = (1-A^*) (v/v^*)^{0,5} (d/d^*)^{0,25} \quad (47)$$

$$i_o = i_o^* (v/v^*) (d^*/d)^2 \quad (48)$$

Filtarski ciklus može da se završi na jedan od tri načina

- $t_z > t_H$ - tada je iskorišćena maksimalna visina
- $t_z < t_H$ - tada je došlo do proboja taloga
- $t_z = t_H$ - tada je došlo do proboja taloga pri iskorišćenju maksimalnoj visini.

Minc (135) predlaže da se kao kriterijum optimalnog projektovanja filtra usvoji uslov

$$t_z/t_H = 1,2 - 1,4 \quad (49)$$

Pri tome je maksimalna visina iskorišćena uz garantovani dobar kvalitet filtrata.

Neki autori (54-58) kritikuju predloženi kriterijum koji za realne sisteme nema značaja. Kako su uslovi temperature, koncentracije i uopšte, kvalitet vode kao sirovine, u vremenu promenljivi, naročito za slučaj površinskih i otpadnih voda, to su i vrednosti t_z za isti izvedeni filter, kod koga je već definisana maksimalna visina, različite.

5.0. MEHANI ZMI FILTRACIJE

Strujanje fluida kroz pore je laminarno, što uslovljava dominantno delovanje viskoznih sila u odnosu na inercione. Carman - Kozenyjev model strujanja kroz kapilaru definiše u kapilari paraboloidni profil brzina od periferije ka centru. Pri strujanju kroz porozan sloj realizuju se relativno male vrednosti Re_E . Pored navedenih veličina na realizaciju dominantnih mehanizama filtracije utiču osobine i elektrosvojstva ispune kao i osobine suspenzije.

Mehanizmi filtracije mogu se grupisati u tri osnovne grupe (33,34,36,85-89)

1. Transportni mehanizmi
2. Mehanizmi privlačenja
3. Mehanizmi otkidanja

5.1. TRANSPORTNI MEHANIZMI

Transportni mehanizmi čine podgrupe date u narednom tekstu.

5.1.1. Cedjenje

Mehanizam cedjenja, dolazi do izražaja u slučaju kada su čestice koje se zaustavljaju velikih dimenzija. U tom slučaju je mala efikasnost korišćenja filtarske ispune. Jedan od oblika predstavlja filtracija uz formiranje pogače (detaljnije istraživali Cleasby and Baumann - 1962) (33,34,36).

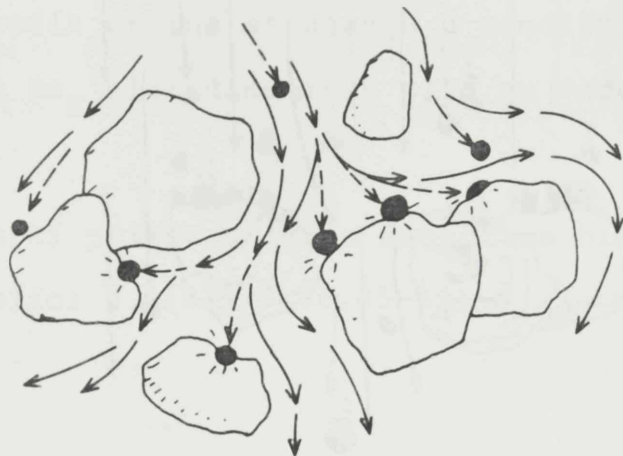
5.1.2. Hvatanje - presretanje

Karakterističan je za filtraciju izuzetno malih čestica čija filtracija inače ne bi mogla biti objašnjena (detaljnije istraživali Stein - 1940, Ison - 1969, Yao - 1968) (33,34,36).

5.1.3. Inercija

Zbog porozne strukture tok tečnosti često menja pravac, te prisutne čestice pod uticajem inercije, nastavljajući kretanje u nepromenjenom pravcu završavaju na površini ispune (detaljnije istraživao Davies - 1952).

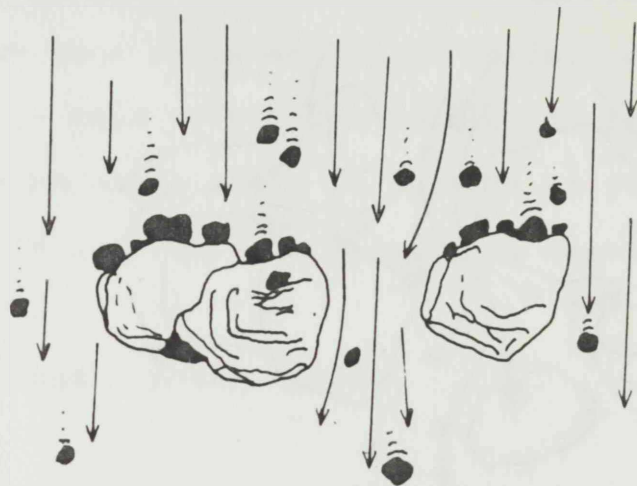
Šematski prikaz iz literature dat je na slici 6. (33,34,85-89)



Slika 6. Prikaz delovanja mehanizma inercije

5.1.4. Taloženje

Čestice taloga, u uslovima malih brzina kretanja, bivaju savladane silom teže, te se talože na gornjim površinama zrna ispune (detaljnije istraživali Ison - 1969, Hazen - 1904) (33,34,36,85-89)



Slika 7. Prikaz uticaja mehanizma taloženja

5.1.5. Difuzija

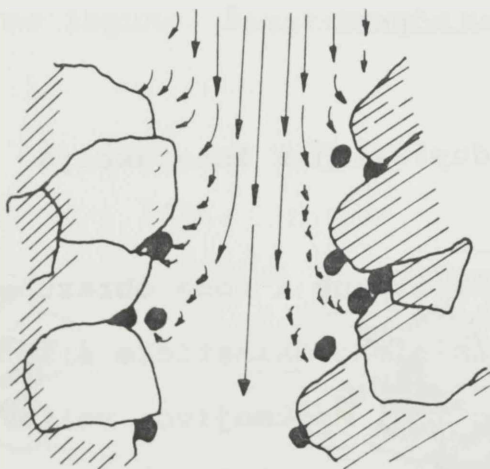
Brownovo kretanje čestica u tečnosti izaziva stvaranje malih količina toplotne energije u molekulima vode. Postojanje gradijenta brzine u kapilari uslovljava postojanje i gradijenta koncentracije, te se čestice kreću iz predela više koncentracije u predeo niže koncentracije difuzijom.

Ovaj mehanizam nije od značaja za krupne čestice, ali za čestice manje od 1μ on ima značaja. (33,34,35)

5.1.6. Hidrodinamičke sile

Usled postojanja gradijenta brzine unutar pore dolazi do pojave većih brzina strujanja u središnjem delu. Vezano za vrednost Re_E hidrodinamičke sile su većeg ili manjeg uticaja.

Šematski prikaz uticaja mehanizma hidrodinamičkih sila dat je na slici 8. (33,34,36,85-89)



Slika 8. Prikaz uticaja mehanizma hidrodinamičkih sila

5.1.7. Ortokinetička flokulacija

Mehanizam transporta čestica na površini ispune putem efekta flokulacije predložio je Camp - 1964(36). Ovaj mehanizam nije eksperimentalno ispitivan.

5.1.8. Kombinovani transportni mehanizmi

U realnom sistemu istovremeno se realizuje više transportnih mehanizama.

5.2. MEHANIZMI PRIVLAČENJA

5.2.1. Električna duploslojna interakcija

Između granula ispune i vode obrazuje se dupli sloj elektro naboja nazvan elektrokinetičke sile ili zeta potencijal. Ova činjenica ima, nesumnjivo, velik uticaj na prirodu kretanja i mehanizam privlačenja čestica taloga.

(Proučavali su ga, među prvima, Ives i Gregory - 1966)

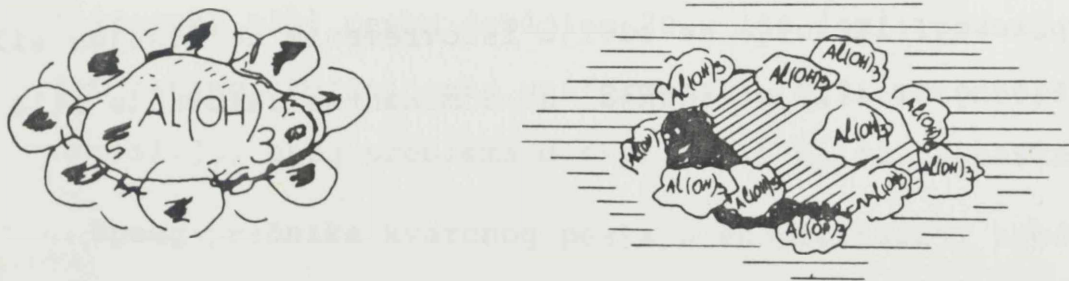
(33,34,36,85-89).

5.2.2. Van Der Waalsove sile

Sile koje deluju izmedju atoma i molekula dolaze i u filtraciji do izražaja. Van Der Waalsove sile ispoljavaju se samo kod jako malih čestica, ispod 50 nm (36).

5.2.3. Uzajamna adsorpcija

Može se navesti kao mehanizam izmedju granula ispune, čestica taloga i rastvorenih polimera i koloidnih sredstava, bilo da se talog adsorbuje na flokulu koagulansa ili flokule koagulansa na zrno ispune. Šematski prikazano na slici 9 (33,34,36,85-89)



Slika 9. Prikaz mehanizma uzajamne adsorpcije

5.3. MEHANIZMI OTKIDANJA

Odavno je poznata tehnika pranja filtra vodom ili vodom i vazduhom, najčešće protivstrujno. To pokazuje da u savladjivanju transportnih mehanizama i sila privlačenja imaju dominantnu ulogu hidrodinamičke sile, koje u domenu pranja, imaju pozitivnu ulogu, dok u domenu filtracije uzrokuju proboje taloga i prekid filtarskog ciklusa (33,34,36, 85-89).

Tokom filtracije talog se akumulira u porama ispune i taloži na površini granula. Time se propustljivost kanala smanjuje što uzrokuje porast realnih brzina strujanja tečnosti u pori. U odredjenom trenutku hidrodinamičke sile toka dobijaju intenzitet takav da su u stanju da otkidaju i ruše talog noseći ga u donje delove ispune. Kao što je i naglašeno, proces filtracije se odvija istovremenim delovanjem sila privlačenja i sila otkidanja, uz dominantno delovanje sila privlačenja.

6.0. E K S P A N D I R A N I P O L I S T I R E N

6.1. KARAKTERISTIKE STRUKTURE SLOJA EKSPANDIRANOG POLISTIRENA

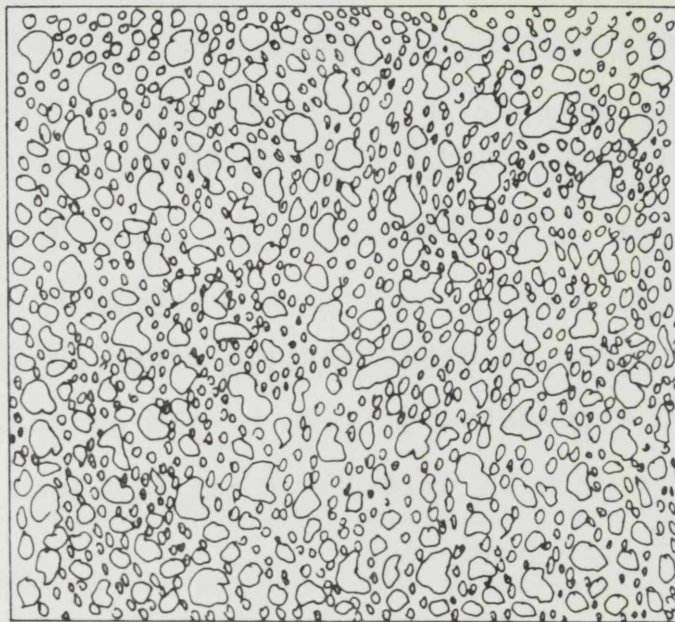
Kvarcni pesak predstavlja tradicionalnu filtarsku ispunu koja je u eksploataciji više od sto godina. Kao teška ispunna, njegova primena uslovljava niz problema u praksi.

Konstrukcija filtra predvidja:

- noseću ploču, sa drenažnim sistemom koji pruža veliki otpor toku
- noseći, drenažni sloj, šljunka, određenog opsega granulacije
- filtarski sloj peska debljine 70 - 150 |cm|, poželjno što manjeg koeficijenta uniformnosti, teži monodisperznom sloju, zbog problema diskutovanih dalje u tekstu

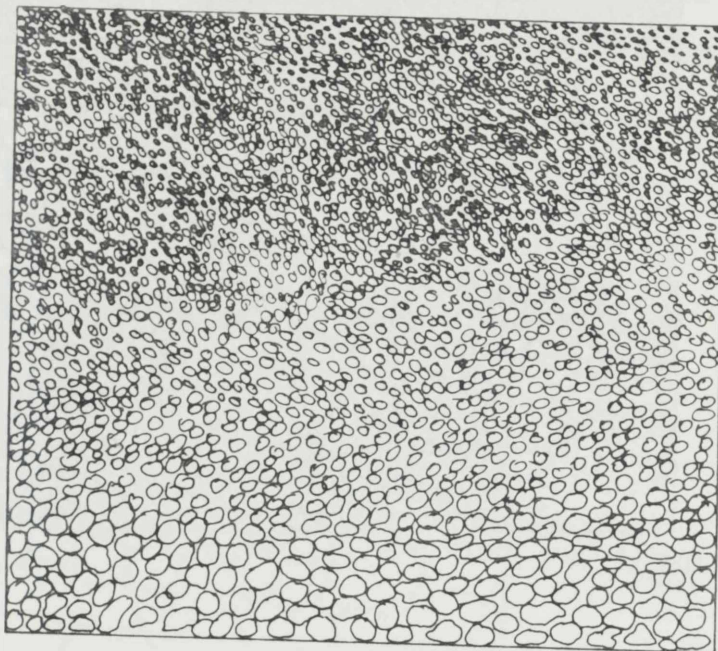
Opseg prečnika kvarcnog peska u eksploataciji kreće se 0,5 - 1,6 |mm|, što zavisi od obližnjeg nalazišta.

Prilikom ubacivanja kvarcnog peska u telo filtra, pre obavljanja pranja, ispunna je u "homogenizovanom" stanju, prikazano šematski na slici 10.



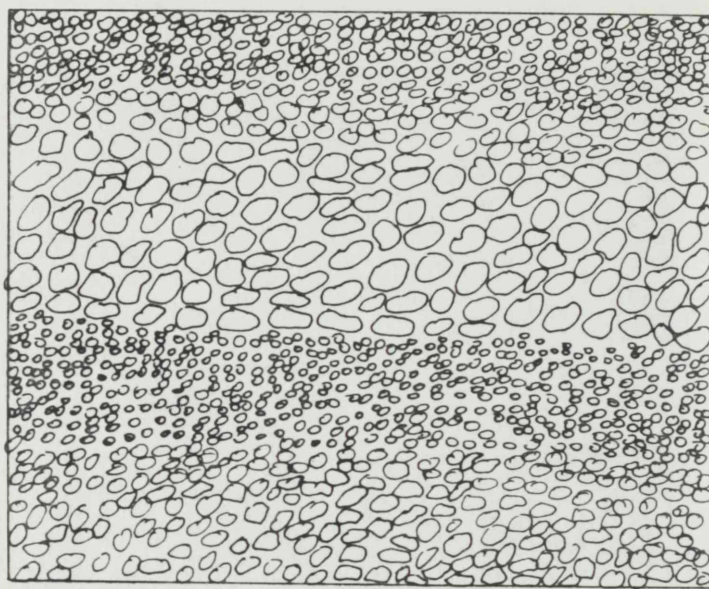
Slika 10. Stanje "homogenizovane", neisklasirane teške
ispune - kvarcni pesak (38)

Posle obavljenog niza pranja ispuna kvarcnog peska konsoliduje se tako da se sloj najsitnijih čestica formira na vrhu, a najkrupnijih na dnu, što uslovljava velike gubitke pritiska, kratke filtarske cikluse, a u filtraciji učestvuje do 20 |cm| dubine peska. Konsolidacija kvarcnog peska posle n pranja šematski je prikazana na slici 11.



Slika 11. Stanje "isklasirane" teške ispune - kvarcni pesak (38)

Navedeni nedostatak pokušava da reši niz istraživača višemedijumskom filtracijom ispuna različite gustine i odgovarajućeg gransastava. Šematski prikaz konsolidacije dvo-medijumskog sloja dat je na slici 12.

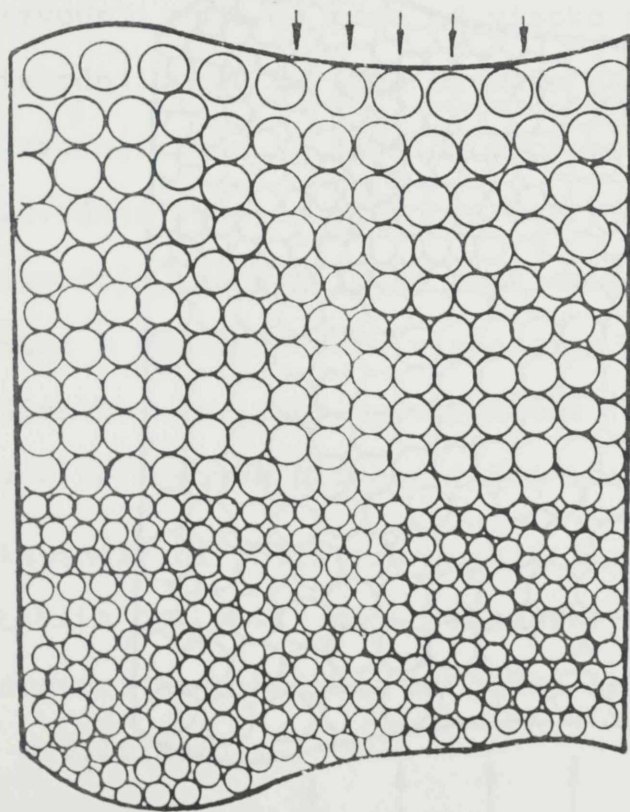


Slika 12. Dvomedijumska "isklasirana" ispuna (38)

Kod višemedijumske filtracije, sloj svakog medijuma isklasira se na isti, nepovoljan način, kao kvarcni pesak, no zbog različite gustine, ne dolazi do mešanja medijuma.

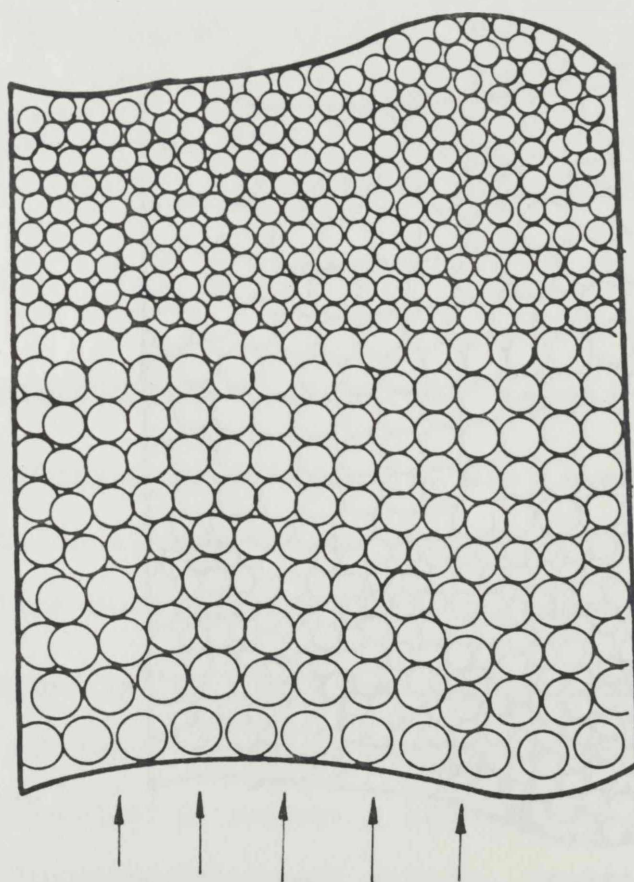
Ekspandirani polistiren, kao ispuna male gustine, pliva u vodi, te ne zahteva noseću ploču, sistem dizni i noseći sloj. Prilikom nasipanja ispune u telo filtra ona se, takođe, nalazi u "homogenizovanom" stanju. Ispitivanja uticaja homogenizovane ispune na režim strujanja kroz sloj data su u eksperimentalnom radu. Prilikom obavljanja određenog broja

pranja ispuna se kalsira po opadajućoj veličini čestica sa vrha ka dnu zbog različite sile potiska granula različitih dimenzija. Time se sloj ekspaniranog polistirena (EPS) konsoliduje idealno za uslove gravitacione filtracije gradeći monodisperzne slojeve po opadajućoj veličini granula. Šematski prikaz dat je na slici 13.



Slika 13. "Isklasirana" ispuna EPS

Ukoliko se želi, zbog većih brzina filtracije, da se realizuje filtracija odozdo na više, EPS je moguće optimalno konsolidovati i za taj zahtev. Tada se igrom gustina i veličina granula postiže isti efekat - krupne granule velike gustine EPS, sitne granule male gustine EPS. Šematski prikaz dat je na slici 14. (206,207)



Slika 14. "Isklasirana" ispunjena EPS granula različite gustine

Na osnovu date analize može se oceniti značaj istraživanja datih u ovom radu, kako u domenu proizvodnje vode za piće, u domenu zaštite čovekove okoline, shodno razvoju tehnologija otpadnih voda, tako i u domenu procesne tehnike uopšte.

Šezdesetih godina ekspanzirani polistiren predlaže se kao filtarska ispuna (143,152,153,206-217).

Njegova primena je veoma široko razvijena u:

- proizvodnji vode za piće od visoko mutnih voda
- proizvodnji vode za piće od malo mutnih voda
- proizvodnji vode za piće od obojenih voda
- proizvodnji vode za piće pri defekalizaciji
- proizvodnji industrijskih voda određenog kvaliteta
- primeni u tretmanu svih vrsta otpadnih voda (metalopre-
radjivačke, hemijske, prehrambene industrije...
- moguća je njegova primena i kao biofiltr

Ekspanzirani polistiren egzistira kao filtarska ispuna u istočnim zemljama punih dvadeset godina, dok u zapadnoj literaturi nije nadjena ni jedna referenca o njegovoj primeni u filtraciji.

Jedan od vodećih istraživača u razvoju uređaja i tehnologija sa EPS je Žurba M.G. (206-217).

U dve objavljene knjige i niz radova, daje na

desetine rešenja i super modernih tehnologija.

Žurba je dosta radio na usavršavanju tehnologije ekspandiranja polistirena, te je dao niz jednačina za prognozi- ranje gustine i prečnika granula EPS.

Žurba predlaže dve vrste ispuna EPS:

- granulisani EPS
- drobljeni EPS - ispenjen od samlevenog granulata poli- stirena

Žurba daje konstrukciju hidroklasifikatora za sortira- nje EPS posle ekspandiranja.

Žurba je detaljno ispitivao osnovna svojstva EPS kao filtarske ispune:

- hemijsku postojanost
- mehaničku otpornost
- abrazivnost i habanje
- kvašljivost
- otpornost na visoke i niske temperature.

Na osnovu publikovanih rezultata može se dati pregled- na tabela svojstava EPS (tabela 1).

Granule EPS kao i polistirena zasićenog n - pentanom su visoko hemijski otporne. Otporne su na dejstvo jakih i slabih kiselina (sa isključenjem azotne), mineralnih

agresivnih sredina kao i na mikroorganizme. Visoko su postojane u slatkoj i morskoj vodi. Razaraju se u organskim rastvaračima: ketonima, aromatskim ugljovodonicima. Nadimaju se u benzinu, no moguće je proizvesti granule EPS inertne na benzin.

TABELA 1. Osobine i svojstva EPS (207)

d_E mm	ρ kg/m ³	Habanje %	Deform.	Upijanje vode za 8 dana %		Termo otp. °C	Otpornost na mraz °C
				tež.	zapr.		
0,32-0,63	712			0,03	0,02		
0,63-1,00	247	0,02	0,01	1,10	0,27	70-90	-65
1,00-1,25	126			1,70	0,21		

Što se tiče toksičnosti EPS, ona je uslovljena zaostanim monomerom - stirola. Stirol je lako rastvoran u vodi te je njegova migracija i ispiranje izuzetno efikasno.

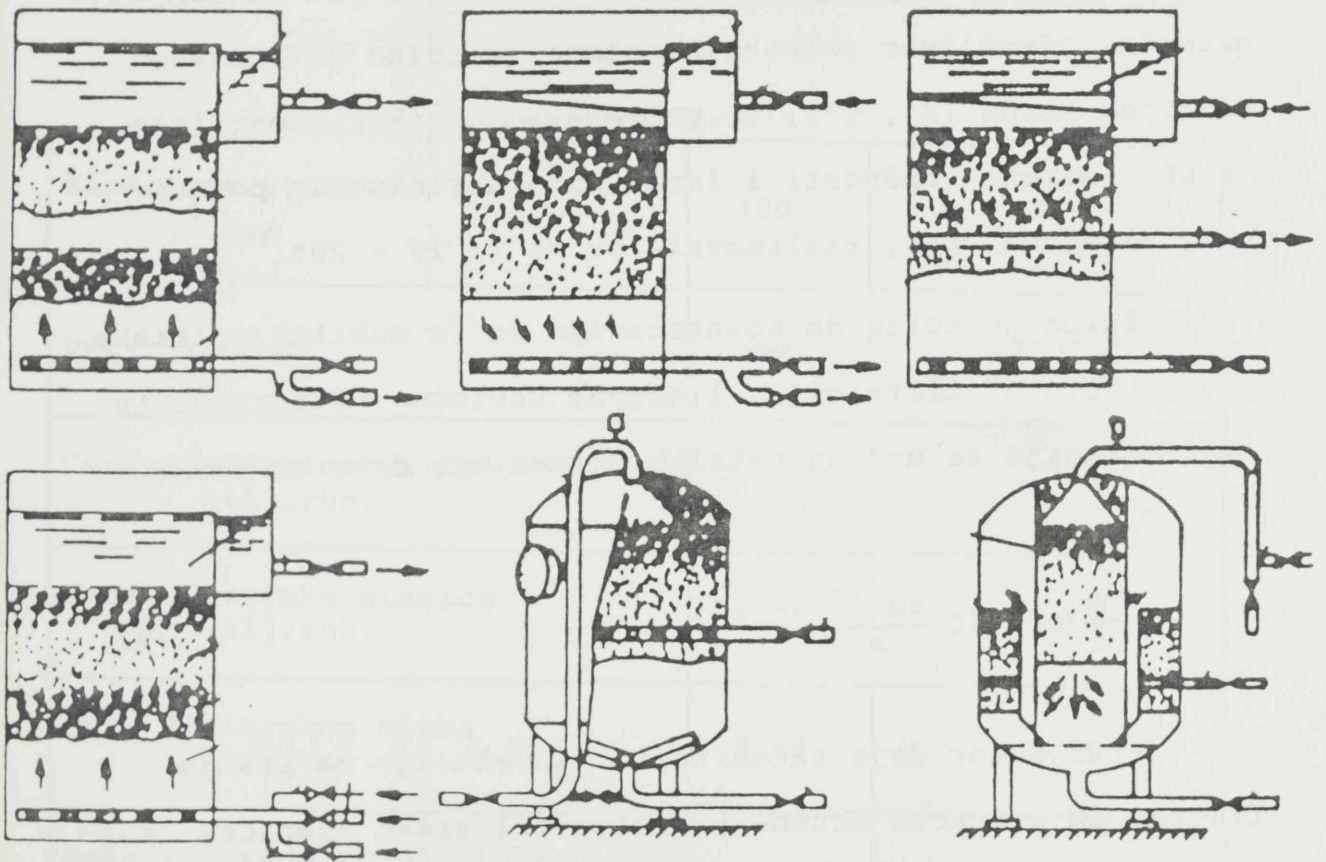
Godine 1965. kijevski NIT komunalne higijene ispitivao je uticaj EPS na kvalitet vode. EPS je u statičkim uslovima ispiran, kako hlorisanom, tako i nehlorisanom, vodom tokom više od 30 dana, uz svakodnevnu kontrolu odabranih parametara kvaliteta vode. Konstatovano je da testirani EPS ne menja kvalitet vode. Data je preporuka da je za slučaj proizvodnje vode za piće EPS, poželjno, pre upotrebe, isprati protočnom vodom u trajanju od 10 časova (206).

Žurba je detaljno ispitivao elektrokinetička svojstva EPS i mogućnosti uticaja na njih. Pokušavao je različitim pripremama ili ekspanzivanjem iz rastvora različitih elektrolita da postigne bolje efekte filtracije. Kao zaključak i drugih istraživača (147) na ovom stepenu istraživanja je, da su sve ispitivane mogućnosti kratkotrajne, i da se postignuti efekat gubi već posle dva - tri pranja (152,153).

Žurba je razradio niz tehnoloških šema filtara sa ispunom od EPS od kojih su samo neke prikazane na slici 15.

Najveći obim eksperimentalnog rada realizovao je na razvoju tehnologija za obradu visoko mutnih voda bezreagensnim postupkom kao i na otklanjanje suspendovane gline iz

površinskih voda.



Slika 15. Tehnološke šeme filtera sa ispunom od EPS (207)

U domenu otklanjanja mutnoće, Žurba je ispitivao uticaj brzine filtracije i granulometrijskog sastava na gubitke pritiska, dužinu filtarskog ciklusa i kvalitet filtrata. Za male brzine filtracije i monodisperzne ispuhe malog ekvivalentnog prečnika (0,3 - 1,0 mm), pri otklanjanju mutnoće, odredjivao je bezdimenzione veličine definisane teorijom Minca (X', T'), te proveravao aplikativnost iste na EPS. Merene vrednosti i izračunate definisanim postupkom, za slučaj EPS, razlikovale su se za 10 - 20%.

Žurba je došao do konstatacije da je gubitak pritiska za male brzine filtracije, linearno zavisano od brzine, te daje relaciju za uticaj ostalih parametara datu oblikom:

$$\frac{\Delta h_S}{h_0} = f \left(\zeta \frac{td^{0,5}}{x} \right) \quad (50)$$

Isti autor daje zakonitosti i relacije za pranje filtra, za proračun ukupne površine filtarske stanice, ukupne visine filtra vezano za tehnološku šemu, mogućnosti automatizacije, moguće načine ubacivanja i izbacivanja ispuhe kod industrijskih filtara kao i niz tehničkih rešenja za različite uslove primene. Daje tehnokonmsku analizu opravdanosti primene EPS, kao i komparativnu analizu u odnosu na filter sa kvarcnim peskom + keramzitom, istog

kapaciteta (za prilike privredjivanja u SSSR-u).

Neki od podataka daju se tabelarno u tabeli 2.

TABELA 2. Tehnoekonomska analiza opravdanosti primene EPS
(206,207)

Kapacitet stanice m^3 /dan	100	100
Vrsta ispune	EPS	pesak + keramzit
Cena gradjevinskih radova hilj.rub.	20,55	22,54
Cena filtarske stanice hilj.rub.	4,70	6,69
Cena filtarskog bloka hilj.rub.	3,44	4,76
Cena lm^3 vode po ulozenim gradjevinskim radovima hilj.rub.	5,2	5,7
Cena lm^3 po filtarskoj stanici kop.	1,4	2,0

Žurba je dao značajan doprinos razvoju teorije kinetike filtracije, predlažući nove bezdimenzione kriterijume i realizujući veliki obim eksperimenata u cilju otklanjanja suspendovane gline (mutnoće). Dao je vrednosti koeficijenata forme granula, kao i njihovu aktivnu površinu za opseg veličine čestica (0,5 - 4,0 mm), ne vodeći računa o uticaju gustine EPS vezano za specifičnost strukture ne samo granule nego i sloja.

Isti autor je uočio fenomen porasta debljine ispune po obavljenom pranju, koji egzistira do kraja filtarskog ciklusa (206,207). Ovaj fenomen je definisao terminom "disanje filtra". Iako je Žurba uočio navedeni fenomen ne uvodi ga u matematičke proračune osnovnih parametara ispune.

Žurba, pri analizi prirode gubitaka pritiska ne određuje hidrodinamičke veličine (koeficijent filtracije, propustljivost, Carman - Kozenyeva konstanta). U svojim radovima (206-217) Žurba daje grafički prikaz zavisnosti hidrodinamičkog otpora od Re_E pri strujanju fluida kroz EPS.

Za razliku od teških ispuna, kod EPS, granulometrijske veličine računaju se iz granulometrijske krive zapreminskih udela (%) frakcija (tj. veličina granula).

Žurba ekvivalentni prečnik polidisperzne ispune EPS definiše izrazom (207)

$$d_E = \frac{100}{\sum \frac{\omega_i}{d_i}} \quad (51)$$

dok koeficijent uniformnosti daje u obliku (207)

$$k_N = \frac{d_{80}}{d_{10}} \quad (52)$$

7.0. E K S P E R I M E N T A L N I P R O G R A M

Da bi se upoznala svojstva i osobine EPS koje su od bitnog uticaja na proces filtracije u ovom radu proučavan je veliki broj granula (monodisperznih frakcija) dimenzija $0,8 - 7,0 \text{ |mm|}$, gustine EPS $15 - 600 \text{ |kg/m}^3\text{|}$. Data je analiza uticaja dimenzije i gustine granule na oblik i strukturu pora, na ukupnu zapreminu pora i posledično na aktivnu površinu (ispune sa oznakom MD - I).

Na osnovu poznavanja svojstava monodisperznih frakcija data ja analiza polidisperznih ispuna koje predstavljaju komercijalne formulacije (gransastav - gustina) proizvoda INA - OKI Zagreb (ispune sa oznakom K - I).

Povezujući fenomene filtracije kroz granulisani sloj EPS na osnovu gore navedenih rezultata, a iz realnih mogućnosti proizvodnje definisanog kvaliteta EPS u ovom trenutku, formulisane su ispune definisanih zahteva (gustine, gransastava, ekvivalentnog prečnika, koeficijenta uniformnosti) u cilju potvrđivanja uočenih zakonitosti i prirode uticaja (ispune sa oznakom E - I).

Eksperimentalni program koncipiran je u nekoliko celina:

- proučavanje uticaja gustine EPS na strukturu i kvalitet površine i unutrašnju strukturu granule EPS, specifičnost strukture sloja u funkciji sabijenosti i funkciji gustine EPS
- proučavanje osnovnih osobina ispune, sabijenosti, gustine ekvivalentnog prečnika, koeficijenta uniformnosti, oblika granule na hidrodinamiku strujanja kroz sloj EPS
- proučavanje osnovnih osobina ispune, sabijenosti, gustine, ekvivalentnog prečnika, koeficijenta uniformnosti na filtraciju pri deferizaciji.

Pored toga realizovani su i eksperimenti koji su doprinos:

- proučavanju prednosti EPS kao filtarske ispune u odnosu na kvarcni pesak
- optimiziranju rada filtrata sa EPS ispunom
- proučavanju kinetike filtracije.

8.0. EKSPANDIRANI POLISTIREN KAO FILTARSKA ISPUNA

8.1. STRUKTURA I IZGLED GRANULA EKSPANDIRANOG POLISTIRENA

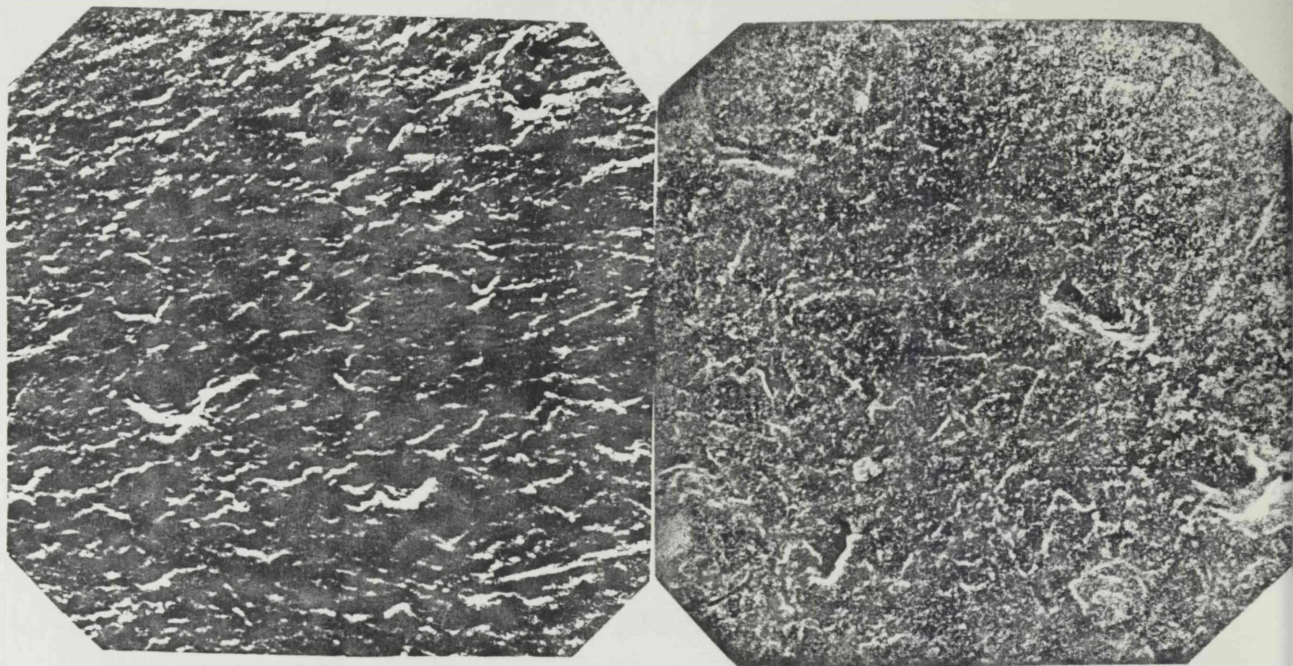
Ekspandirani polistiren proizvodi se od granulata polistirena, zasićenog sa 4 - 6% n-pentanom, kao lako isparljivom komponentom, u predekspanderu, parom odredjenog pritiska. Granulat gubi naglo n - pentan (dolazi do njegove ekspanzije) te menja izgled i svojstva granule. Ekspandiranjem n-pentana grade se mehuraste strukture koje čine površinu hrapavom manje ili više što zavisi od postignute gustine ekspandirane granule.

U unutrašnjosti granule EPS grade se poliedarske ćelije čija debljina zida, takodje, zavisi od postignute gustine EPS.

Polazni granulat polistirena zasićen n-pentanom ima glatku površinu, izgled staklasto - prozirne plastične mase.

Kvalitet površine granule polistirena zasićenog n - pentanom snimljen SEM - metodom dat je na slici 8.1.

Izgled granule EPS isključivo zavisi od gustine EPS. EPS malih gustina ima veoma razvijenu strukturu to je vidno na SEM - snimcima datim na slici 8.2.



a

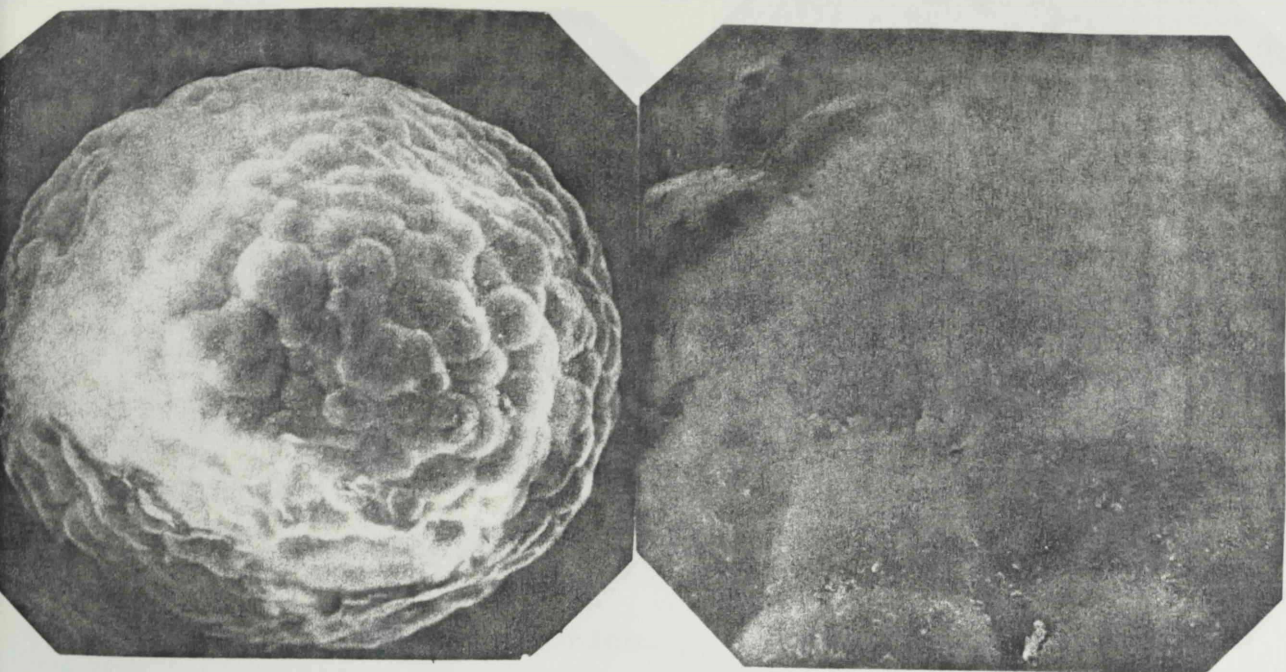
b

Slika 8.1. Izgled površine granule polistirena zasićenog
n - pentanom, SEM x 6000

a) $d = 0,3 \text{ |mm|}$

b) $d = 2,0 \text{ |mm|}$

SEM - metoda - Scanning microscope, firma JEOL, JSM - 35



a

b

Slika 8.2. Izgled granule male gustine EPS

a) ispuna (K-1), $d = 1 \text{ [mm]}$, SEM x 72

b) detalj površine iste granule SEM x 300



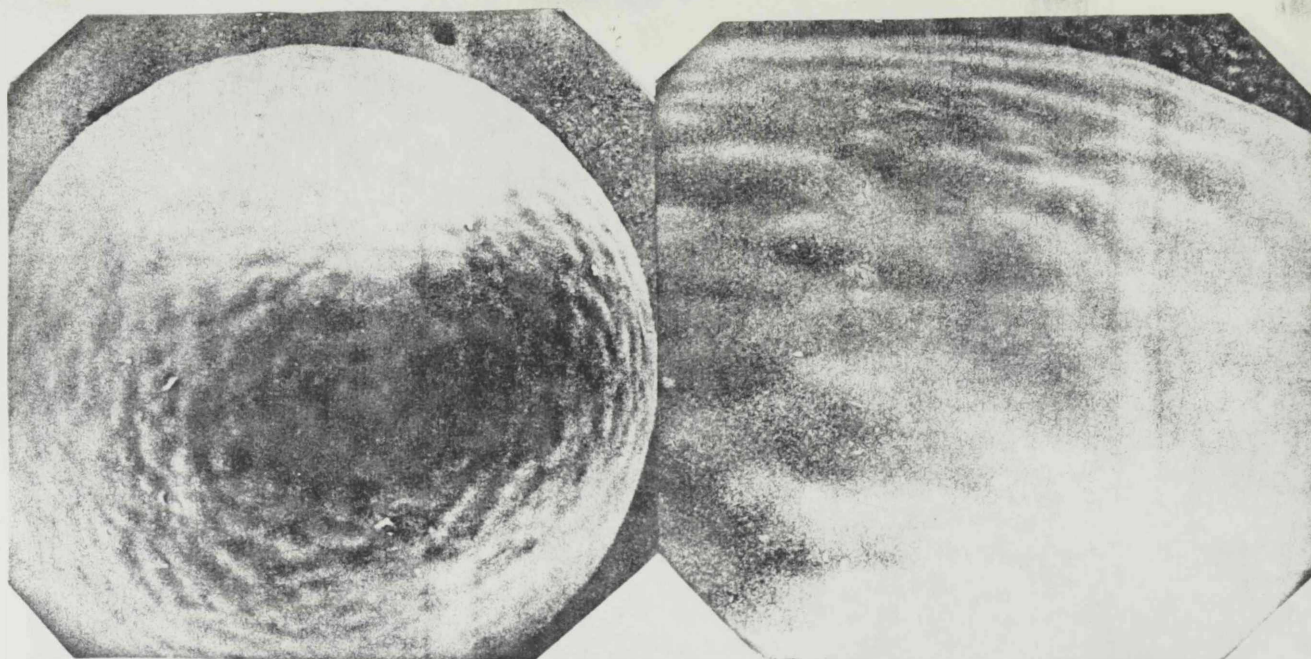
a

b

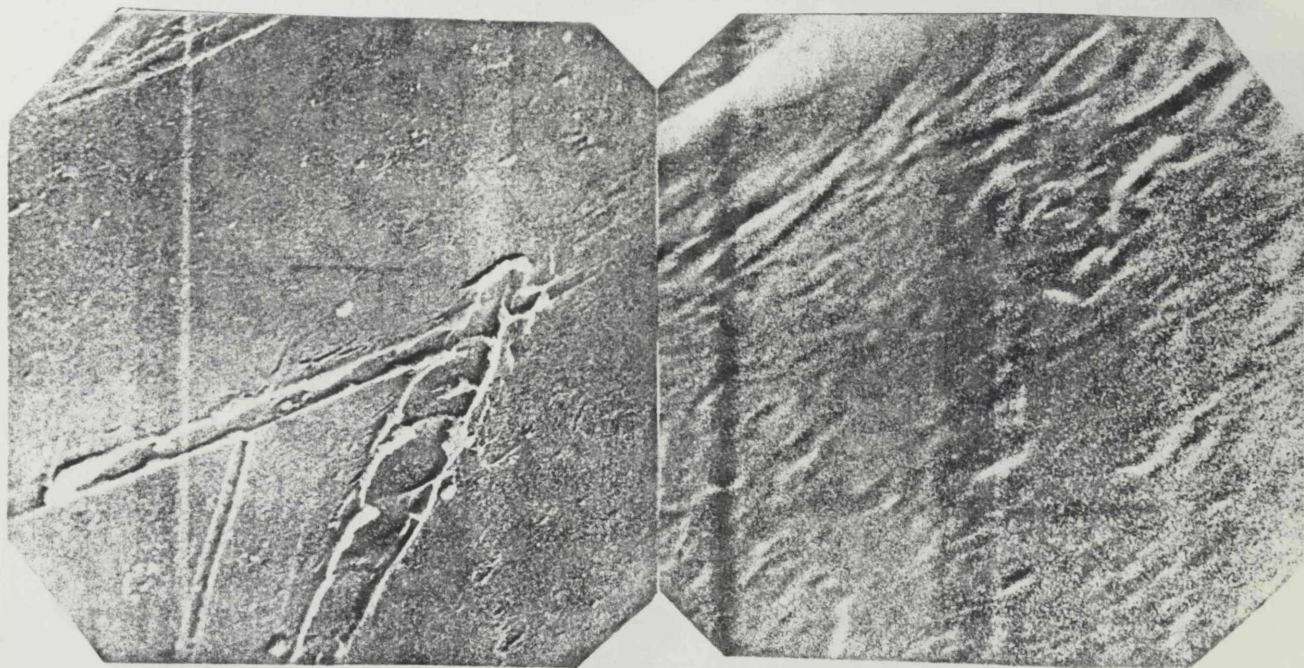
Slika 8.3. Zid mehura granule date na slici 8.2.

a) SEM x 2000

b) SEM x 20000



a b
Slika 8.4. Izgled granule velike gustine EPS
a) ispuna (K - 5), $d = 1 \text{ mm}$ SEM x 72
b) detalj površine iste granule SEM x 300



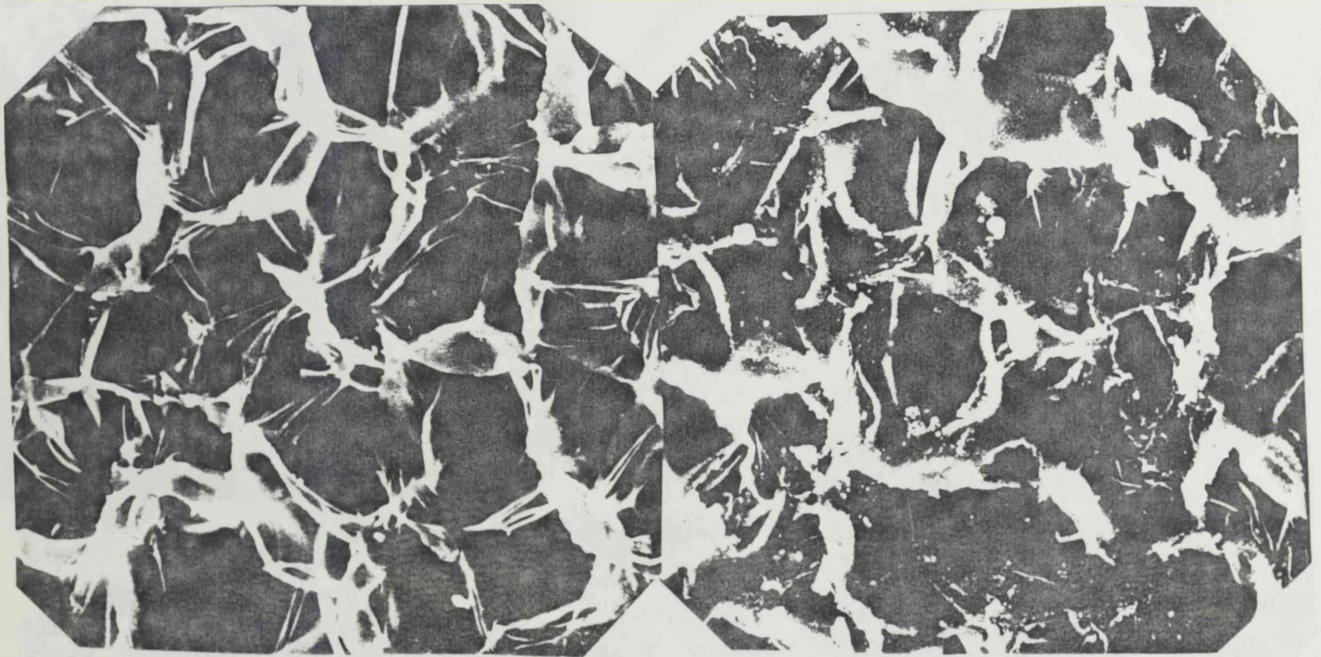
a b
Slika 8.5. Zid mehura granule prikazane na slici 8.4.
a) SEM x 2000 b) SEM x 20000

EPS velike gustine ima mnogo manje izraženu hrapavost površine što se jasno vidi na slikama 8.4. i 8.5.

Unutrašnjost granule male i velike gustine, također, je različita.

Razlika strukture poliedara i debljine zida date su na slici 8.6.

Kod EPS male gustine zidovi ćelija su tanji u odnosu na zidove EPS velike gustine.



a

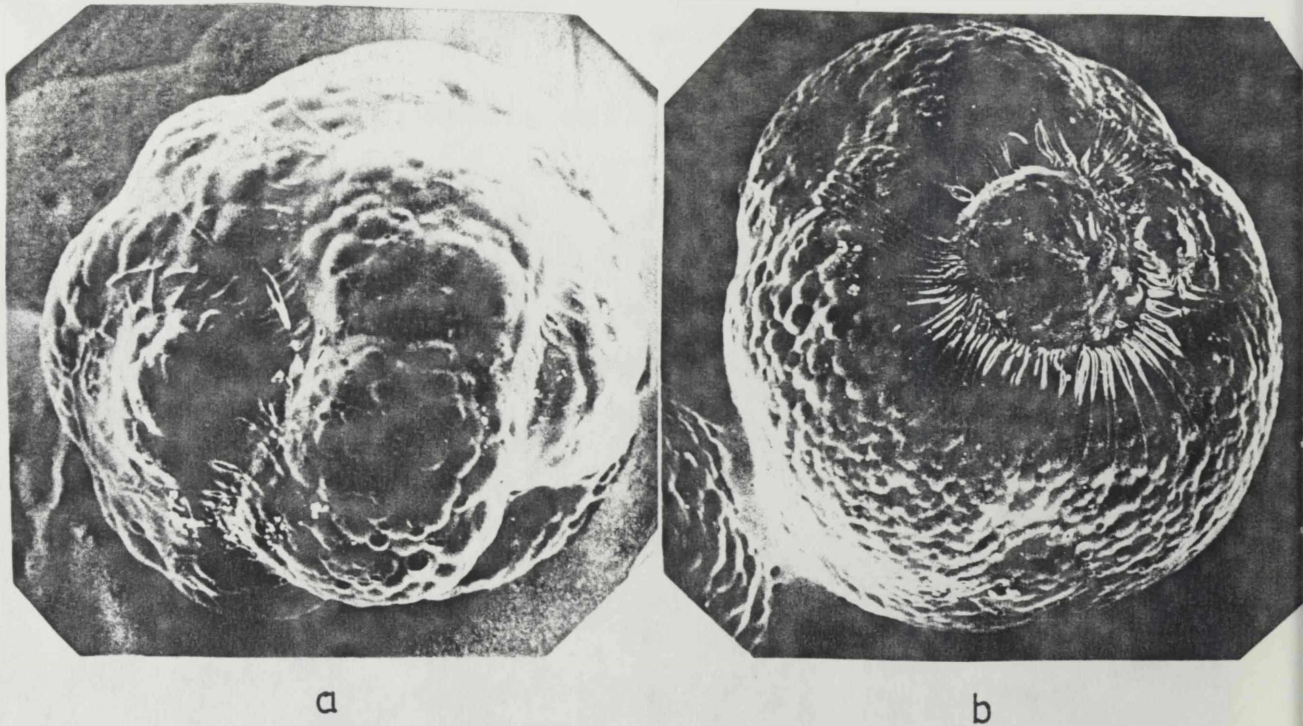
b

Slika 8.6. Poliedarske ćelije unutrašnje strukture EPS,

SEM x 300 a) EPS male gustine

b) EPS velike gustine

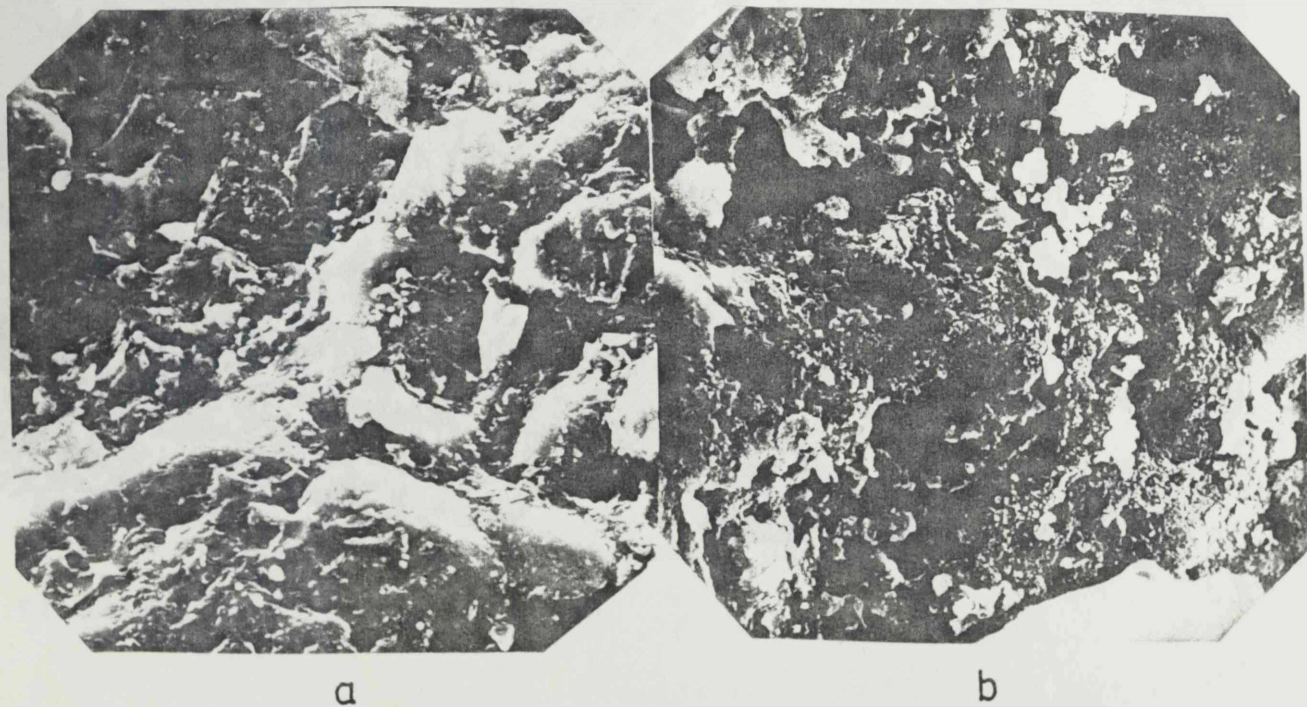
Kako su uslovi razmene toplote prilikom ekspandiranja polistirena različiti za svaku česticu u zapremini predeks-
pandera, dolazi, često do deformacija i devijacija forme i
kvaliteta površine granule. Neke od mogućih deformacija pri-
kazane su na slici 8.7.



Slika 8.7. Prikaz nekih deformacija forme granula EPS
a) SEM x 54 b) SEM x 40

Za razliku od prirodnih ispuna koje se koriste u filtraciji i koje imaju razudjenu unutrašnju teksturu zrna (unutrašnju poroznost), EPS kao ispuna gradi samo međuprostor između čestica, tj. poseduje samo poroznost u nasutom sloju. Iako je time njegova ukupna poroznost, raspoloživa za filtraciju, nešto manja od prirodnih ispuna, EPS pokazuje veliku efikasnost u radu, a što je još veća prednost, u pranju, u odnosu na teške ispune.

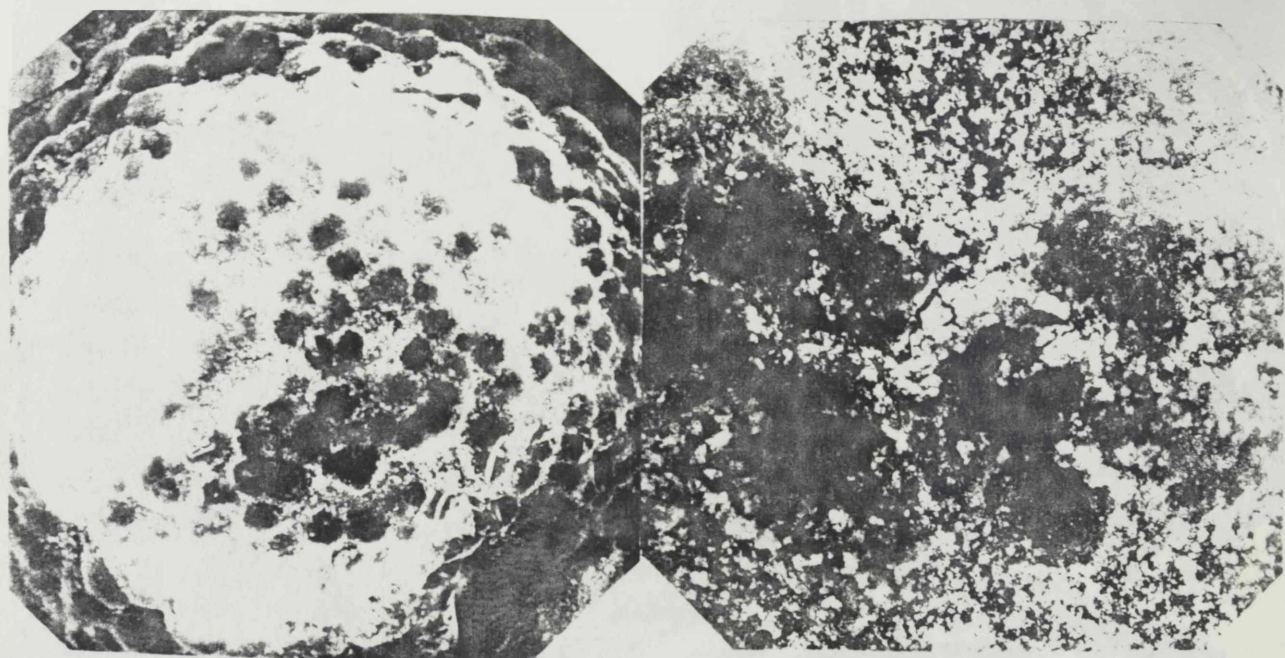
Izgled zrna kvarcnog peska, čistog i sa skramom $\text{Fe}(\text{OH})_3$ dat je na slici 8.8.



Slika 8.8. Izgled granule kvarcnog peska, SEM x 300
a) čist, nekorišćen
b) korišćen pri deferizaciji

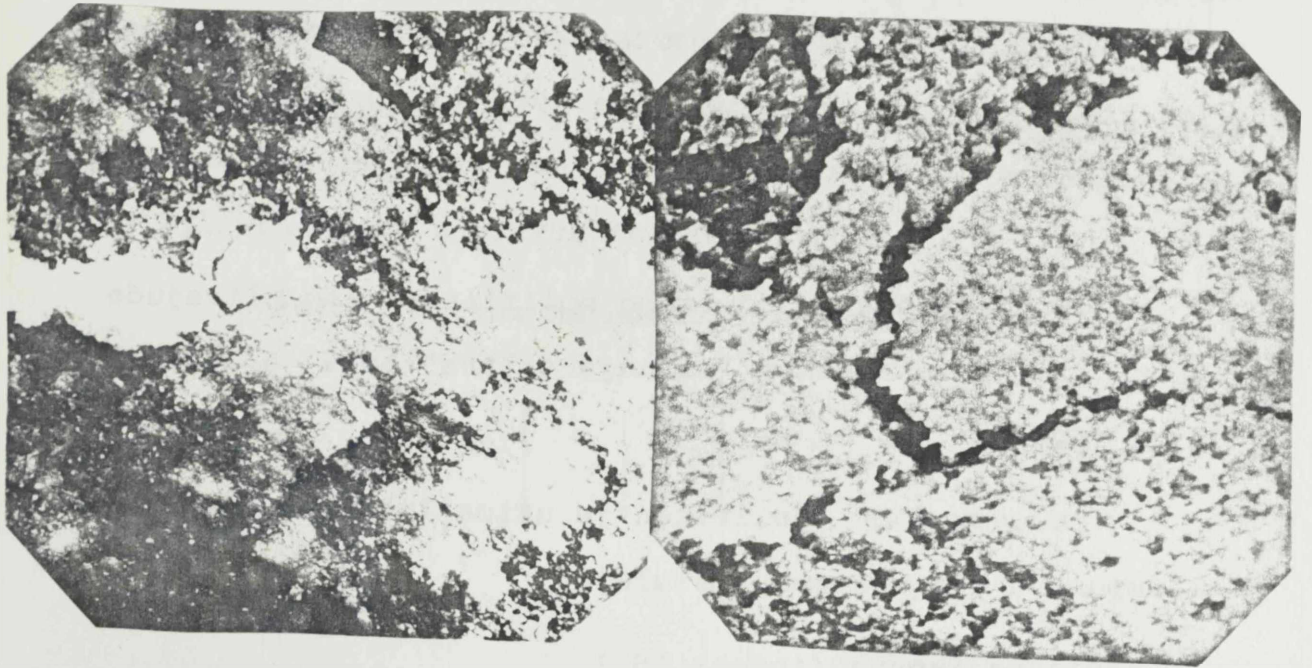
Granule EPS, pri deferizaciji, takodje, se presvuku slojem $\text{Fe}(\text{OH})_3$, no zbog odsustva unutrašnje poroznosti, moguće je, pri pranju, njegovo efikasnije uklanjanje.

Izgled granule EPS i detalj površine ispune posle 100 sati deferizacije i intenzivnog pranja dat je na slici 8.9.



a

b



c

d

Slika 8.9. Granula EPS, ispune (MD - 1) presvučena skramom $\text{Fe}(\text{OH})_3$

a) SEM x 72

b) SEM x 300

c) SEM x 2000

d) SEM x 10000

Vrlo je uočljivo postojanje skrame na granuli EPS koja je u određenim predelima počela da puca i da se ljušti ostavljajući čistu površinu.

9.0. SPECIFIČNOST STRUKTURE SLOJA JA EKSPANDIRANOG POLISTIRENA

9.1. SPECIFIČNOST STRUKTURE SLOJA U FUNKCIJI SABIJENOSTI ISPUNE

Kod sloja ekspandiranog polistirena kao plivajuće ispune javlja se fenomen "disanja filtra" koji je uočio Žurba (207).

U ovom radu analiziran je uticaj stepena sabijenosti ispune u dva ekstremna slučaja:

- sabijena ispuna (indeks "S")

kada se ispuna mehaničkim udarima (ili strujom tečnosti odozdo naviše) vrati na polaznu debljinu pre pranja

- nesabijena ispuna (indeks "N")

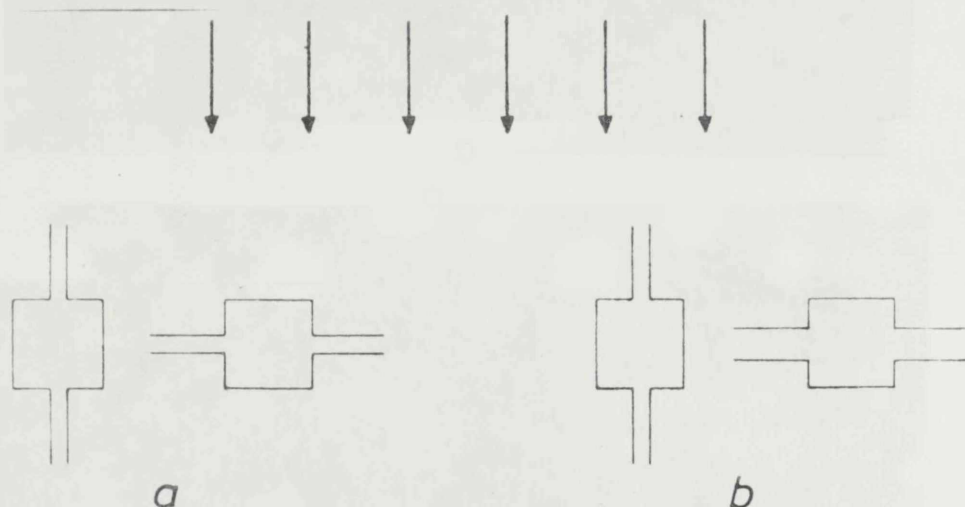
kada je ispuna u razvučenom stanju.

Prilikom pranja filtarske ispune dolazi do pojave prirasta debljine u odnosu na početno stanje. Prirast debljine, odnosno zapremine, predstavlja prirast poroznosti ispune. Prirast debljine je veći kod ispuna veće gustine.

Sabijena ispuna "S", analogno teškim ispunama poseduje kapilare koje karakterišu dve dimenzije, telo i vrat kapilare, nevezano od položaja kapilare u odnosu na tok tečnosti.

Kod nesabijene ispune, može se reći, da se javljaju kapilare različite dimenzije vrata, zavisno od njenog položaja u odnosu na tok tečnosti. Kapilare čiji vrat leži normalno na tok tečnosti imaju veću dimenziju vrata od kapilara čiji vrat leži u pravcu toka tečnosti.

Šematski prikaz navedenog fenomena dat je na slici

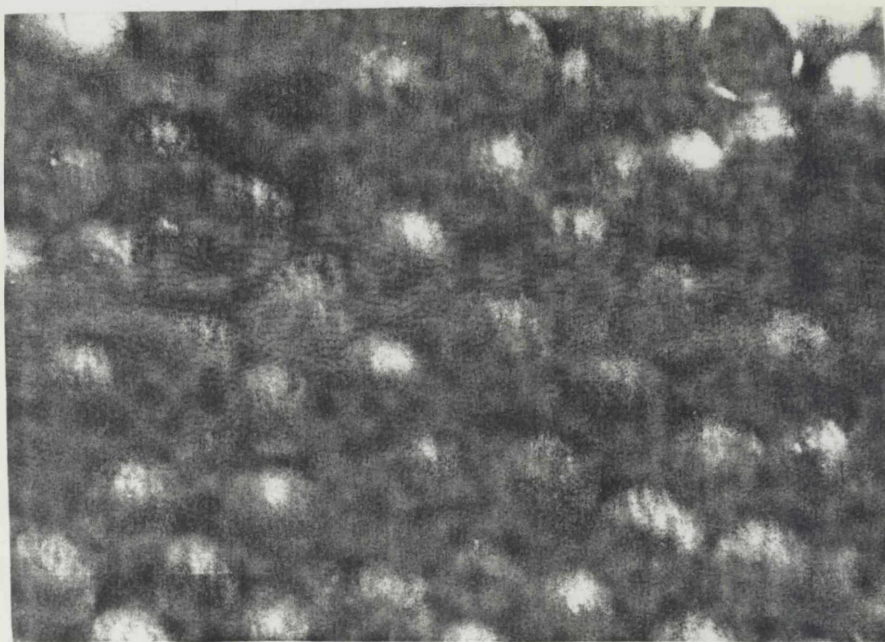


Slika 9.1. Karakterističan oblik kapilara

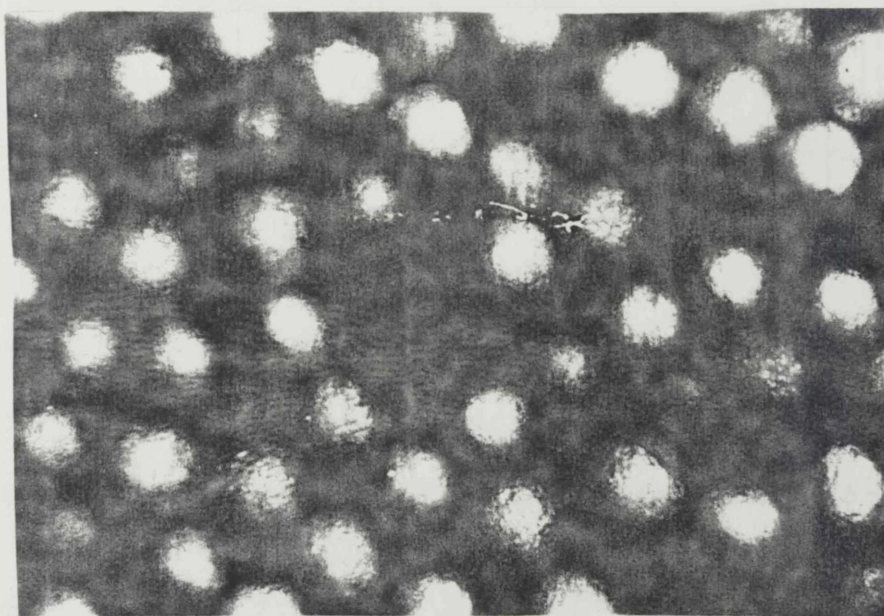
a) sabijena ispuna "S" b) nesabijena ispuna "N"

Time se u velikoj meri razlikuju vrednosti poroznosti is-puna u "S" i u "N" stanju (rezultati dati dalje u analizi).

Uočljivu sliku različite strukture pora "S" i "N" sloja pokazuju fotografski snimci snimljeni optičkim mikro-skopom u telu filtra dati na slici 9.2. i 9.3.

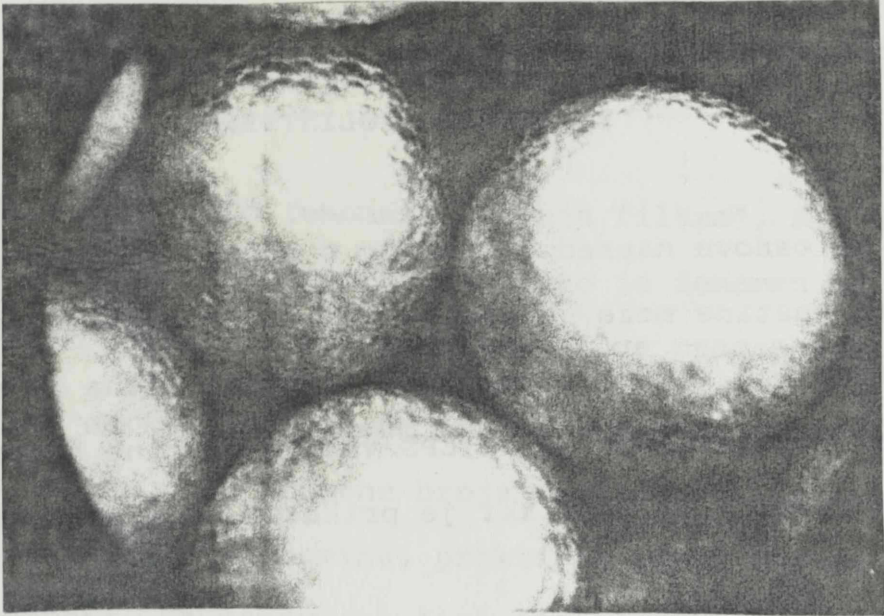


a

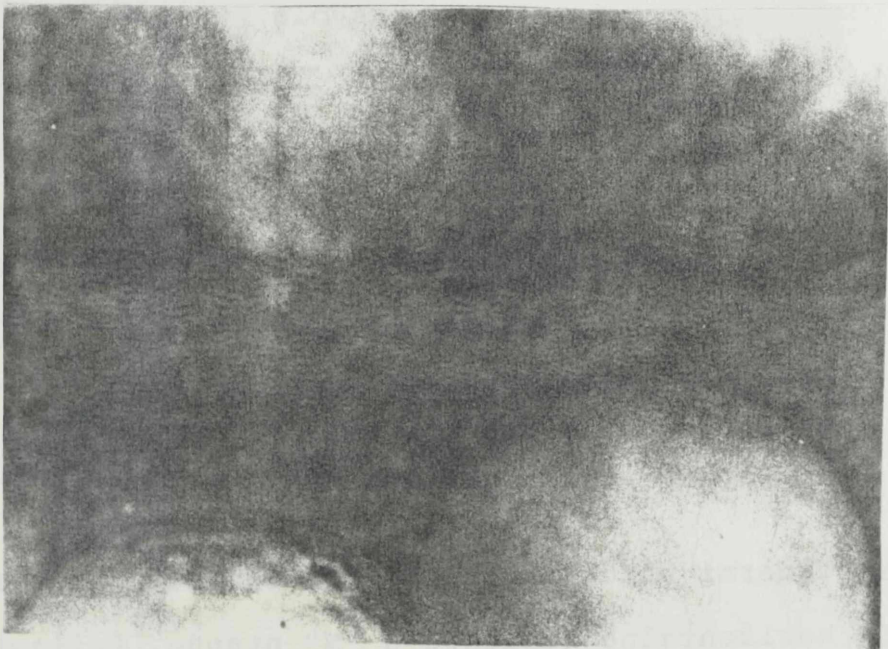


b

Slika 9.2. Fotografski snimci radjeni optičkim mikroskopom
ispuna snimana u telu filtra, (MD - 1,6T) uveća-
nje x 6,3 a) "S" stanje b) "N" stanje



a



b

Slika 9.3. Fotografski snimci ispune definisane na slici 9.2., uvećanje x 40
a) "S" stanje b) "N" stanje

9.2. SPECIFIČNOST STRUKTURE SLOJA U FUNKCIJI GUSTINE EKSPANDIRANOG POLISTIRENA

Na osnovu napred izloženog o strukturi granula EPS različite gustine može se zaključiti da je kvalitet površine različit. Za EPS male gustine karakteristična je visoka hrapavost kapilare dok je za EPS velike gustine hrapavost mala. Na slici 9.4. šematski je prikazan dati fenomen.



Slika 9.4. Hrapavost zida kapilare

- a) ispuna male gustine EPS, "S" stanje
- b) ispuna velike gustine EPS, "S" stanje

Sekundarni uticaj gustine EPS odražava se u dimenziji vrata horizontalne kapilare u "N" stanju. Prirast debljine ispune pri pranju veći je kod EPS velike gustine te je i prečnik vrata horizontalne kapilare veći.

9.3. PRORAČUN POROZNOSTI NESABIJENE ISPUNE

Žurba je uočio fenomen "disanja filtra", ali ga nije uključio u matematičke proračune, iako je fenomen od bitnog uticaja kako na režim strujanja tako i na proces filtracije.

Kako se kod nesabijene ispune povećava zapremina, tj. debljina ispune, bez promene broja čestica, to se može zaključiti da prirast zapremine, praktično ide u korist povećanja poroznosti. Na osnovu te činjenice i nekoliko izmerenih vrednosti, dolazi se do kalkulacije predložene veličine poroznosti nesabijenog sloja ϵ_N .

Ako je:

$$\Delta L = L_N - L_S \quad (9.1.)$$

- ΔL - promena debljine ispune sabijanjem
- L_N - debljina nesabijene ispune
- L_S - debljina sabijene ispune (odgovara debljini potopljene nasute ispune pre obavljenog pranja)

$$\Delta V = \Delta L S \quad (9.2)$$

- ΔV - prirast zapremine
- S - poprečni presek uredjaja

$$V_{\epsilon_S} = (L_S S) \epsilon_S \quad (9.3.)$$

- V_{ϵ_S} - zapremina pora sabijene ispune

$$V_{\epsilon_N} = V_{\epsilon_S} + \Delta V \quad (9.4.)$$

- V_{ϵ_N} - zapremina pora nesabijene ispune

$$\epsilon_N = \frac{V_{\epsilon_N}}{L_S S + \Delta V} \quad (9.5.)$$

- ϵ_N - predstavlja udeo zapremine pora nesabijene ispune u odnosu na zapreminu ispune

9.4. MONODISPERZNE FRAKCIJE GRANULISANOG EPS (MD - I)

Kao karakteristične veličine za monodisperzne frakcije određivane su:

- prečnik čestice (frakcije) d , |mm|
- nasipna gustina, ρ_N , |kg/m³|
- gustina, ρ |kg/m³|
- poroznost "S" sloja, ϵ_S , |1|
- aktivna površina zrna, a_o , |m²/m³|
- aktivna površina "S" sloja, a_S , |m²/m³|
- ukupna aktivna površina, uključen zid uređaja, "S" sloja, a_{US} , |m²/m³|
- struktura površine čestice snimljena SEM - metodom

Podaci i rezultati ispuna uzetih u razmatranje prikazani su u tabelama 9.1. - 9.4.

Na osnovu dobijenih rezultata analizirane su zavisnosti osnovnih veličina monodisperznih ispuna:

- zavisnost nasipne gustine ρ_N od gustine ρ EPS
- zavisnost poroznosti sabijene frakcije ϵ_S od gustine ρ EPS
- zavisnost poroznosti sabijene frakcije ϵ_S od prečnika granule d

TABELA 9.1. KARAKTERISTIKE MONODISPERZNE ISPUNE $d = 1$ |mm|

Prečnik čestice		$d = 1$ mm		
ρ_N	25,00	51,33	148,80	416,30 ^Δ
ρ	42,10	81,80	223,35	683,90
ϵ_S	0,406	0,373	0,333	0,391
a_O^*	6000	6000	6000	6000
a	3566	3762	4002	3652
a_u	3616	3812	4052	3702

Analizom prikazanih rezultata može se ukazati na linearnu zavisnost nasipne gustine ρ_N od gustine ρ kao i na odsustvo zakonitosti promene ϵ sa promenom gustine EPS, za $d = \text{const.}$

-
- a_O^* - vrednost izračunata na osnovu d , te je ista za sve slučajeve
 - Δ - nepotpuno ekspanđovane frakcije

TABELA 9.2. KARAKTERISTIKE MONODISPERZNE ISPUNE $d = 1,25$ |mm|

Prečnik čestice		$d = 1,25$ mm		
ρ_N	22,30	44,50	124,00	197,00
ρ	36,20	73,16	206,30	335,71
ϵ_S	0,384	0,392	0,399	0,413
a_O^*	4800	4800	4800	4800
a	2957	2918	2866	2817
a_u	3007	2968	2936	2867

Analizom rezultata iz tabele 9.2. mogu se izvući iste konstatacije kao i iz tabele 9.1.

TABELA 9.3. KARAKTERISTIKE MONODISPERZNE ISPUNE $d = 1,6 \text{ |mm|}$

Prečnik čestice $d = 1,6 \text{ mm }$							
ρ_N	20,40	37,05	91,60	116,10	129,44 Δ	435,23 Δ	532,29 Δ
ρ	32,30	64,90	159,25	190,12	198,50	660,30	811,70
ϵ_S	0,369	0,429	0,425	0,389	0,348	0,3409	0,344
a_O^*	3750	3750	3750	3750	3750	3750	3750
a	2366	2141	2157	2291,25	2445	2472	2459
a_u	2416	2191	2207	2341,25	2495	2522	2509

Zavisnosti vrednosti parametara datih u tabeli 9.3. u skladu su sa već podvučenim uz tabele 9.1. i 9.2.

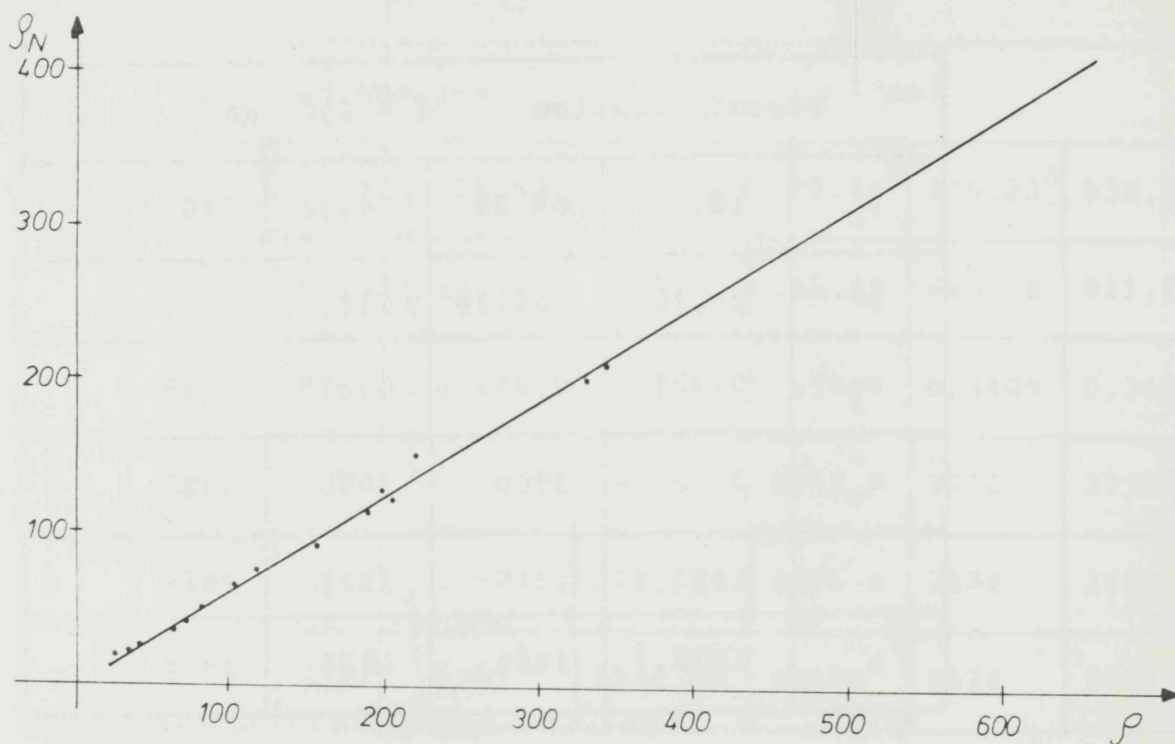
TABELA 9.4. KARAKTERISTIKE MONODISPERZNE ISPUNE $d = 2,0$ [mm]

Prečnik čestice $d = 2,0$ [mm]				
ρ_N	18,71	64,30	74,30	210,2
ρ	29,20	106,20	118,90	346,8
ϵ_S	0,359	0,395	0,375	0,394
a_O^*	3000	3000	3000	3000
a	1922,7	1815	1875	1818
a_u	1972,7	1865	1925	1868

9.4.1. Analiza zavisnosti osobina monodisperznih ispuna

Kada se uporedi uticaj gustine na nasipnu gustinu, za ceo opseg posmatranih veličina čestica, može se konstatovati linearna zavisnost $\rho_N = f(\rho)$.

Grafički prikaz utvrđene zavisnosti $\rho_N = f(\rho)$ daje se na slici 9.5.



Slika 9.5. Zavisnost $\rho_N = f(\rho)$ monodisperzne ispune
 $d = 1,0 - 2,0 \text{ |mm|}$

Zavisnost $\rho_N = f(\rho)$ može se prikazati jednačinom
prave datom relacijom (9.6.) uz koeficijent korelacije
 $k = 0,9984$

$$\rho_N = 0,64 \rho - 3,83 \quad (9.6.)$$

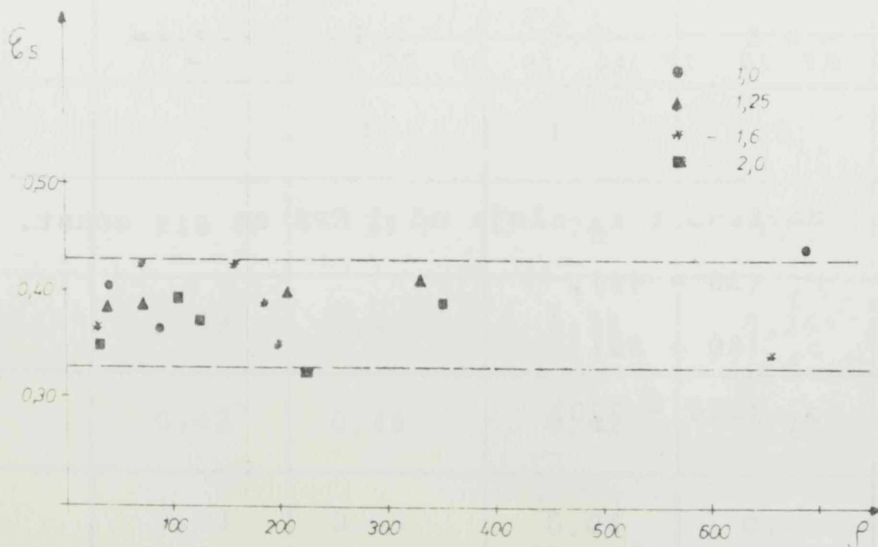
$$\rho = \frac{\rho_N + 3,83}{0,64} \quad (9.7.)$$

Utvrđjena zavisnost, u velikoj meri, olakšava određivanje karakterističnih veličina sloja filtarske ispune:

— Nasipna gustina se odredi, jednostavno, merenjem težine definisane zapremine nasute monodisperzne ispune. Na osnovu zavisnosti 9.7. izračunava se vrednost ρ . Iz poznatih vrednosti ρ_N i ρ računa se poroznost sloja relacijom:

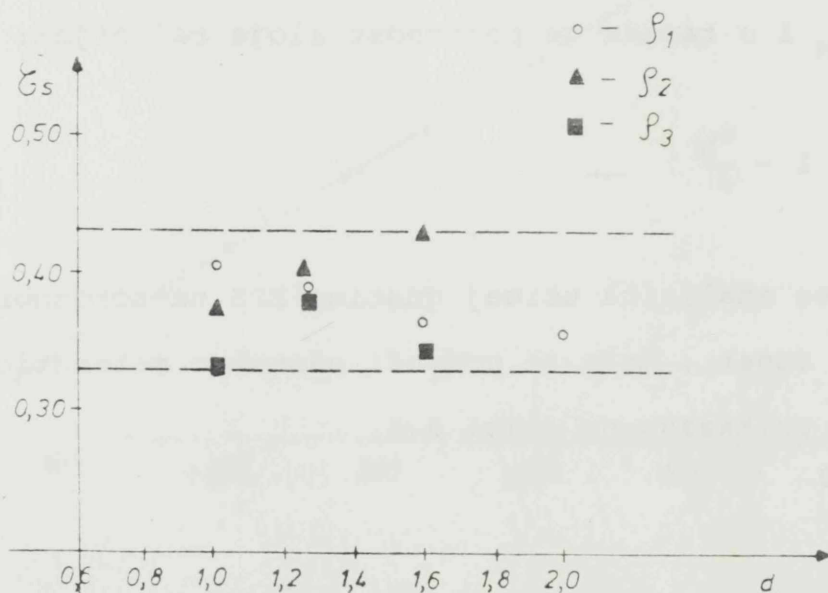
$$\epsilon_S = 1 - \frac{\rho_N}{\rho} \quad (9.8.)$$

Ako se analizira uticaj gustine EPS na poroznost sloja pri $d = \text{const.}$, može se podvući odsustvo matematičke zavisnosti, prikazano na slici 9.6.



Slika 9.6. Zavisnost ϵ_S sloja od ρ EPS, za $d = \text{const.}$

Poroznost sabijene ispune kreće se u opsegu 0,33 - 0,43, za ceo opseg gustine EPS, 0 - 800 $[\text{kg}/\text{m}^3]$ i posmatrani opseg veličina čestica 0,8 - 2,0 $[\text{mm}]$. U isto vreme javlja se i uticaj različitog pakovanja sfera koje pomeraju promene poroznosti u istom opsegu vrednosti.



Slika 9.7. Zavisnost ϵ_s sloja od d EPS za $\rho = \text{const.}$

ρ_1 (30 - 40),

ρ_2 (60 - 80),

ρ_3 (200 - 220)

Na slici 9.7. dat je prikaz vrednosti poroznosti sloja ϵ_S za različito d EPS, $\rho = \text{const.}$

Može se ukazati na odsustvo zakonitosti ϵ_S od d za posmatrani opseg 1,0 - 2,0 |mm|.

Karakteristike monodisperznih ispuna koje su analizirane dalje u radu date su u tabeli 9.5.

TABELA 9.5. OSNOVNE KARAKTERISTIKE MONODISPERZNIH ISPUNA KORIŠĆENIH U EKSPERIMENTALNOM RADU

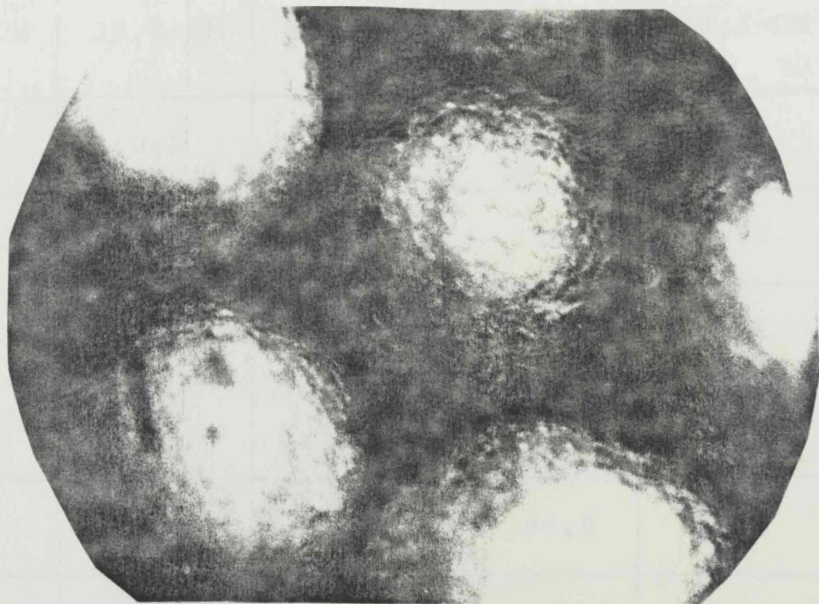
Oznaka ispune	MD-1,6T	MD-1,6L	MD-2,0T	MD-2,0L	MD-1,0
d_E	1,6	1,6	2,0	2,0	1,0
ρ	190	65	119	29	223
ρ_N	116	37	74	19	149
ϵ_S	0,39	0,43	0,38	0,36	0,33
ϵ_N	0,42	0,46	0,42	0,39	-
$\Delta\epsilon_1$	0,03	0,03	0,04	0,03	-

9.4.2. Specifičnost monodisperznih ispuna

Analizom granula monodisperznih ispuna SEM metodom utvrđeno je:

- kod lakih ispuna uniformnost kvaliteta granula je ujednačena
- kod ispuna srednje i velike gustine egzistiraju granule i lakog i teškog EPS, čineći mešavinu, tj. prosečnu gustinu frakcije

Vrlo je teško odabrati granule koje, zapravo, predstavljaju primer date gustine frakcije. Ovo ilustruju snimci urađeni optičkim mikroskopom. Na slici 9.8. prikazana je ispuna (MD-1,6T)



Slika 9.8. Granule teške ispune (MD-1,6T) snimljene u telu filtra, uvećanje x 40

Uzrok navedenoj pojavi leži u tehnologiji ekspandiranja polistirena zasićenog n - pentanom. Dati uslovi tehnologije odgovaraju potrebama kvaliteta EPS u njegovoj primeni u građevinarstvu i proizvodnji ambalaže.

Tokom realizacije datog eksperimentalnog programa puno je radjeno na ispitivanju optimalnih uslova ekspandiranja polistirena u saradnji sa INA - OKI iz Zagreba.

9.5. KARAKTERISTIKE POLIDISPERZNIH ISPUNA EKSPANDIRANOG
POLISTIRENA

Za polidisperzne ispune određivane su sledeće karakteristike:

- nasipna gustina, ρ_N , $|\text{kg/m}^3|$
- gustina EPS, ρ $|\text{kg/m}^3|$
- granulometrijski sastav dat za vol.% ostatka sa sita
- ekvivalentni prečnik, d_E $|\text{mm}|$
- efektivni prečnik, d_{10} , $|\text{mm}|$
- koeficijent uniformnosti, K_N , $|1|$
- poroznost homogenizovane ispune, ϵ' , $|1|$
- poroznost isklasisirane, sabijene ispune, ϵ_S , $|1|$
- poroznost isklasisirane, nesabijene ispune, ϵ_N , $|1|$
- aktivna površina zrna, a_O , $|\text{m}^2/\text{m}^3|$
- aktivna površina sabijenog sloja, a_S , $|\text{m}^2/\text{m}^3|$
- aktivna površina sabijenog sloja uključen zid uređaja
 a_{US} , $|\text{m}^2/\text{m}^3|$
- aktivna površina nesabijenog sloja, a_N , $|\text{m}^2/\text{m}^3|$
- aktivna površina nesabijenog sloja uključen zid uređaja,
 a_{UN} , $|\text{m}^2/\text{m}^3|$
- zapreminska zastupljenost čestica po veličini
- distribucija veličine čestica po dubini filtarske ispune

Navedeni podaci dati su dalje u tekstu u obliku karakterizacionih lista. Ispune su označene šiframa koje su već definisane.

Navedene karakteristike određivane su na sledeći način:

- nasipna gustina - merenjem težine jedinice zapremine
- gustina EPS - merenjem zapremine istisnute tečnosti
- granulometrijski sastav - prosejavanjem na sitima
- ekvivalentni prečnik - proračunom karakterističnim za plivajuće ispune
- efektivni prečnik - iz krive granulometrijskog sastava
- koeficijent uniformnosti - iz krive granulometrijskog sastava, karakteristično za lake ispune
- poroznost homogenizovane ispune - merenjem zapremine istisnute tečnosti
- poroznost isklasirane ispune - merenjem zapremine istisnute tečnosti
- poroznost isklasirane, nesabijene ispune - određena proračunom datim u ovom radu
- navedene aktivne površine određivane su računskim putem
- zapreminska zastupljenost čestica po veličini - predlaže se u ovom radu kao slikovitiji opis gransastava od granulometrijske krive

- distribucija veličine čestica po dubini filtra - način prikazivanja predložen ovim radom. Moguće je samo za plivajuće ispune, a daje informaciju o položaju n - monodisperznih ispuna po dubini polidisperzne ispune.

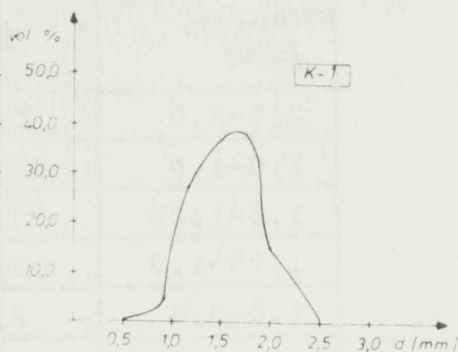
Karakterizacije liste polidisperznih ispuna korišćenih u eksperimentalnom radu date su u nizu narednih tabela KL.1.- KL.14., kao i monodisperznih KL.15.- KL.19.



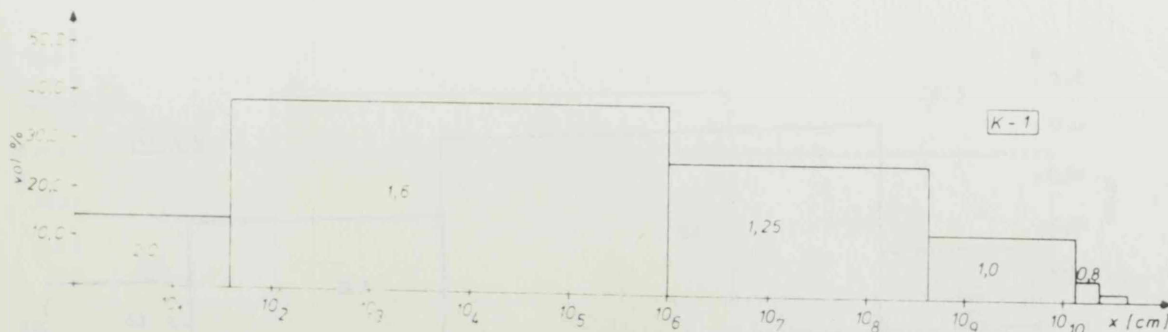
KARAKTERISTIKE FILTARSKE ISPUNE

- Nasipna gustina /kg/m³/ρ_N = 21
- Gustina EPS /kg/m³/ρ = 37
- Gran.sastav:
- Ekvivalentni prečnik /mm/d_E = 1,34
- Efektivni prečnik /mm/ d₁₀ = 1,1
- Koefficient uniformnosti K_N = 1,75

FRAKCIJE /mm/	% vol.	NASIPNA GUSTINA
< 2,5	0,98	15,00
2,5-2,0	14,71	16,26
2,0-1,6	38,15	20,26
1,6-1,25	27,25	21,94
1,25-1,0	13,62	25,84
1,0-0,8	4,20	26,62
DNO	1,09	40,50



- Poroznosti ispune:
- Homogenizovane ε = 0,38
- Isklisirane, sabijene ε_s = 0,43
- Isklisirane, nesabijene ε_n = 0,45
- Aktivna površina /m²/m³/:
- Zrna a₀ = 4478
- Sloja, a = 2552
- Ukupna, a_U = 2602
- Sloja, a_N = 2464
- Ukupna, a_{UN} = 2514

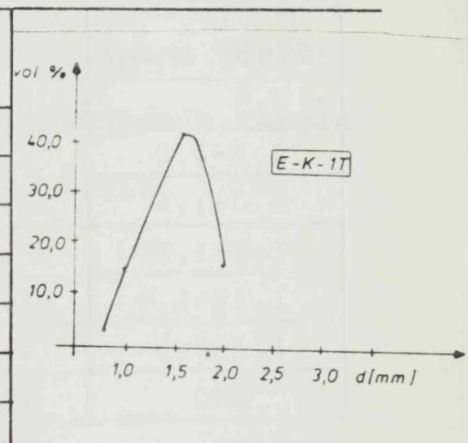




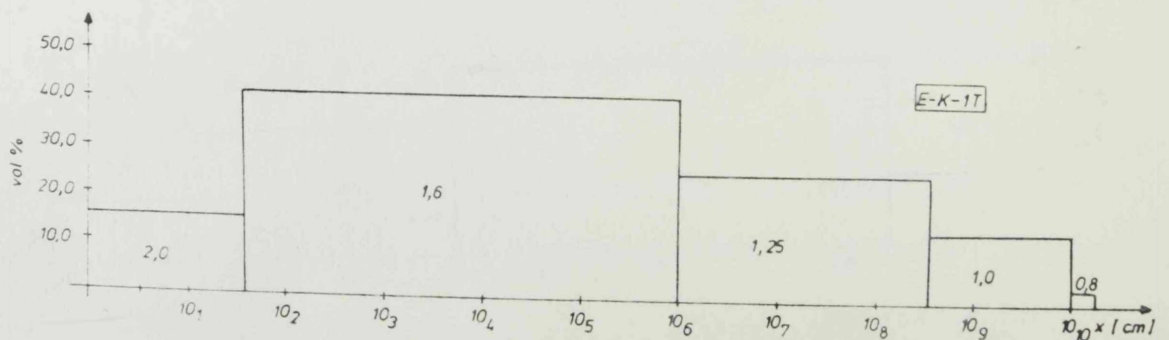
KARAKTERISTIKE FILTARSKE ISPUNE

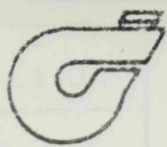
- Nasipna gustina /kg/m³/ρ_N = 117
- Gustina EPS /kg/m³/ρ = 210
- Gran.sastav:
- Ekvivalentni prečnik /mm/d_E = 1,34
- Efektivni prečnik /mm/ d₁₀ = 1,1
- Koeficijent uniformnosti K_N = 1,75

FRAKCIJE /mm/	% vol.	NASIPNA GUSTINA
2,5-2,0	15,50	64,30
2,0-1,6	42,10	116,10
1,6-1,25	25,30	129,44
1,25-1,0	16,60	149,00
1,0-0,8	2,50	150,00



- Poroznosti ispunje:
- Homogenizovane ε = -
- Isklasirane, sabijene ε_s = 0,39
- Isklasirane, nesabijene ε_n = 0,43
- Aktivna površina /m²/m³/:
- Zrna a₀ = 4478
- Sloja, a = 2732
- Ukupna, a_U = 2782
- Sloja, a_N = 2552
- Ukupna, a_{UN} = 2602

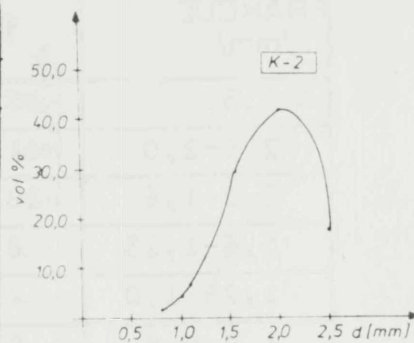




KARAKTERISTIKE FILTARSKE ISPUNE

- Nasipna gustina /kg/m³/g_N = 18
- Gustina EPS /kg/m³/g = 31
- Gran.sastav:
- Ekvivalentni prečnik /mm/d_E = 1,77
- Efektivni prečnik /mm/ d₁₀ = 1,58
- Koeficijent uniformnosti K_N = 1,57

FRAKCIJE /mm/	% vol.	NASIPNA GUSTINA
< 2,5	17,68	15,47
2,5-2,0	41,99	17,16
2,0-1,6	29,83	19,17
1,6-1,25	5,52	21,7
1,25-1,0	4,14	22,27
1,0-0,8	0,55	38,00
DNO	0,28	



- Poroznosti ispunje:
- Homogenizovane $\epsilon = 0,36$
- Isklasirane, sabijene $\epsilon_s = 0,41$
- Isklasirane, nesabijene $\epsilon_n = 0,44$
- Aktivna površina /m²/m³/:
- Zrna a₀ = 3390
- Sloja, a = 2010
- Ukupna, a_U = 2060
- Sloja, a_N = 1922
- Ukupna, a_{UN} = 1972

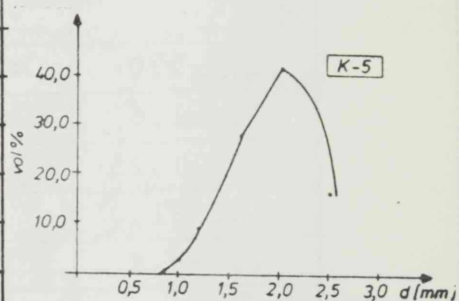




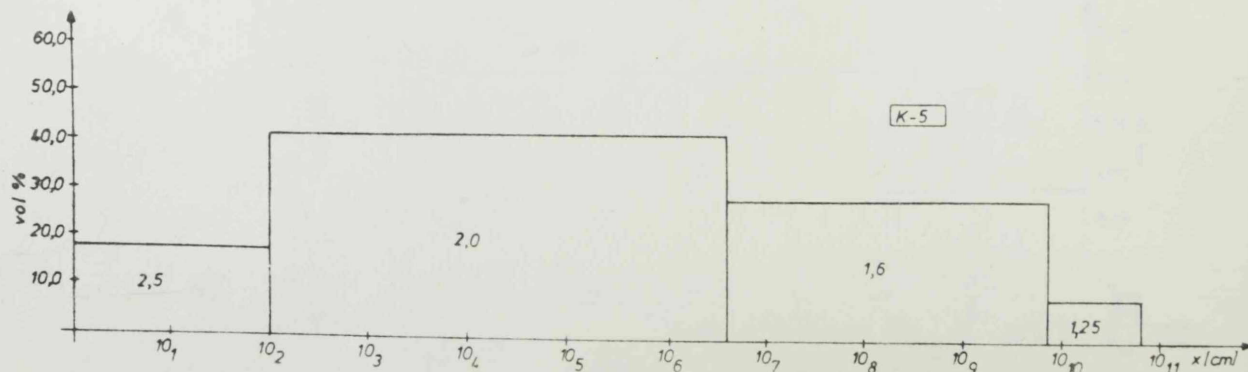
KARAKTERISTIKE FILTARSKE ISPUNE

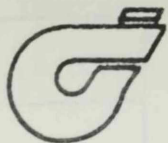
- Nasipna gustina /kg/m³/g_N = 94
- Gustina EPS /kg/m³/g = 173
- Gran.sastav:
- Ekvivalentni prečnik /mm/d_E = 1,77
- Efektivni prečnik /mm/ d₁₀ = 1,55
- Koeficijent uniformnosti K_N = 1,6

FRAKCIJE /mm/	% vol.	NASIPNA GUSTINA
< 2,5	17,68	54,80
2,5-2,0	41,25	71,33
2,0-1,6	28,87	112,49
1,6-1,25	8,84	137,80
1,25-1,0	2,36	331,27
1,0-0,8	0,71	249,15
DNO	0,30	279,70



- Poroznosti ispune:
- Homogenizovane $\epsilon = 0,39$
- Isklasirane, sabijene $\epsilon_s = 0,46$
- Isklasirane, nesabijene $\epsilon_n = 0,50$
- Aktivna površina /m²/m³/:
- Zrna a₀ = 3399
- Sloja, a = 1850
- Ukupna, a_U = 1900
- Sloja, a_N = 1700
- Ukupna, a_{UN} = 1750

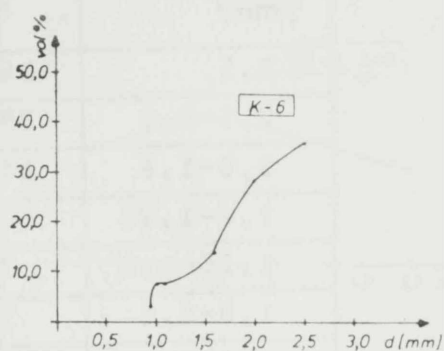




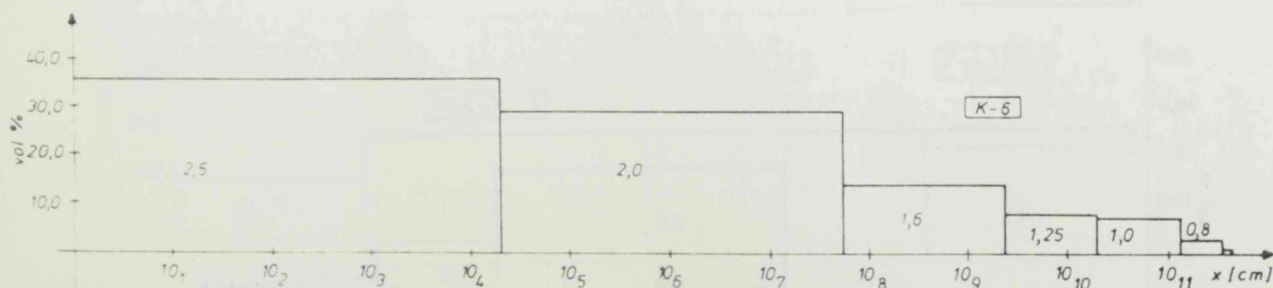
KARAKTERISTIKE FILTARSKE ISPUNE

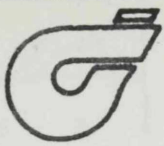
- Nasipna gustina /kg/m³/ρ_N = 69
- Gustina EPS /kg/m³/ρ = 124
- Gran.sastav:
- Ekvivalentni prečnik /mm/d_E = 1,71
- Efektivni prečnik /mm/ d₁₀ = 1,18
- Koeficijent uniformnosti K_N = 2,32

FRAKCIJE /mm/	% vol.	NASIPNA GUSTINA
< 2,5	36,50	48,60
2,5-2,0	29,20	60,03
2,0-1,6	14,60	83,50
1,6-1,25	7,82	90,62
1,25-1,0	7,40	112,38
1,0-0,8	3,34	130,60
DNO	1,15	182,65



- Poroznosti ispune:
- Homogenizovane ε = -
- Isklasirane, sabijene ε_s = 0,44
- Isklasirane, nesabijene ε_n = 0,48
- Aktivna površina /m²/m³/:
- Zrna a₀ = 3507
- Sloja, a = 1964
- Ukupna, a_U = 2014
- Sloja, a_N = 1831
- Ukupna, a_{UN} = 1881

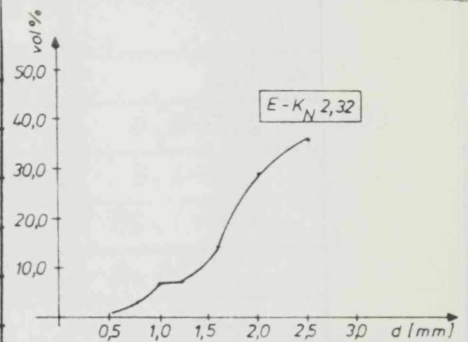




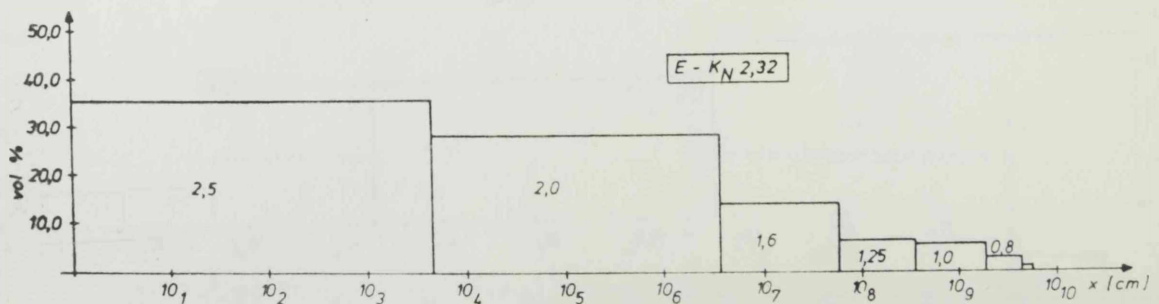
KARAKTERISTIKE FILTARSKE ISPUNE

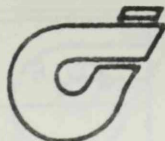
- Nasipna gustina /kg/m³/ρ_N = 39
- Gustina EPS /kg/m³/ρ = 64
- Gran.sastav:
- Ekvivalentni prečnik /mm/d_E = 1,71
- Efektivni prečnik /mm/ d₁₀ = 1,18
- Koeficijent uniformnosti K_N = 2,32

FRAKCIJE /mm/	% vol.	NASIPNA GUSTINA
< 2,5	36,50	30,16
2,5-2,0	29,20	12,44
2,0-1,6	14,60	19,96
1,6-1,25	7,80	24,78
1,25-1,0	7,40	29,16
1,0-0,8	3,30	14,17
DNO	1,10	40,50



- Poroznosti ispunje:
- Homogenizovane ε = -
- Isklasirane, sabijene ε_s = 0,36
- Isklasirane, nesabijene ε_n = 0,39
- Aktivna površina /m²/m³/:
- Zrna a₀ = 3507
- Sloja, a = 2244
- Ukupna, a_U = 2294
- Sloja, a_N = 2139
- Ukupna, a_{UN} = 2189

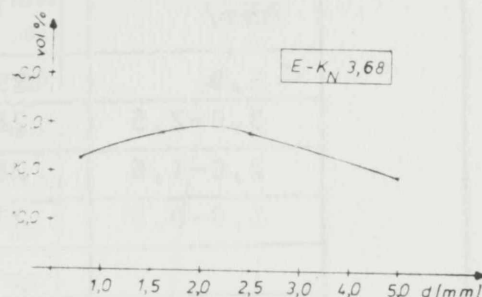




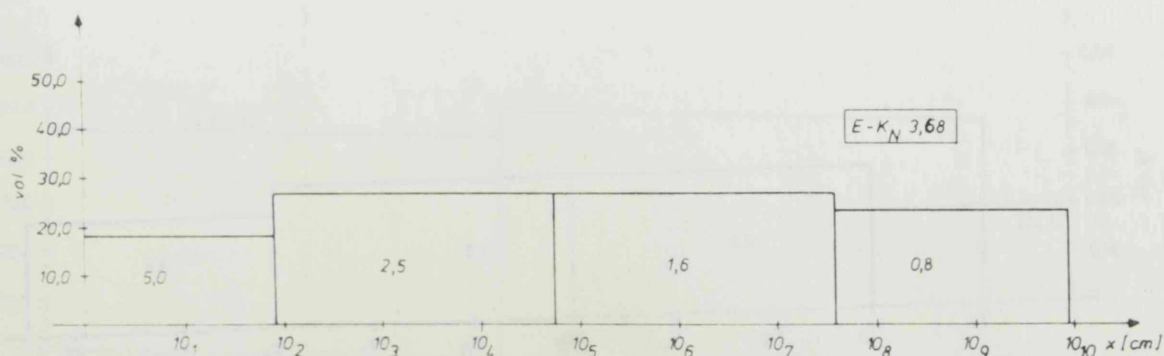
KARAKTERISTIKE FILTARSKE ISPUNE

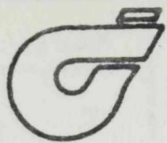
- Nasipna gustina /kg/m³/ρ_N = 27
- Gustina EPS /kg/m³/ρ = 55
- Gran.sastav:
- Ekvivalentni prečnik /mm/d_E = 1,62
- Efektivni prečnik /mm/ d₁₀ = 0,8
- Koeficijent uniformnosti K_N = 3,68

FRAKCIJE /mm/	% vol.	NASIPNA GUSTINA
< 5,0	19,12	15,30
3,0-2,5	28,68	23,22
2,0-1,6	28,68	36,80
1,0-0,8	23,50	28,00



- Poroznosti ispune:
- Homogenizovane ε = -
- Isklasirane, sabijene ε_s = 0,47
- Isklasirane, nesabijene ε_n = 0,49
- Aktivna površina /m²/m³/:
- Zrna a₀ = 3704
- Sloja, a = 1963
- Ukupna, a_U = 2013
- Sloja, a_N = 1889
- Ukupna, a_{UN} = 1939

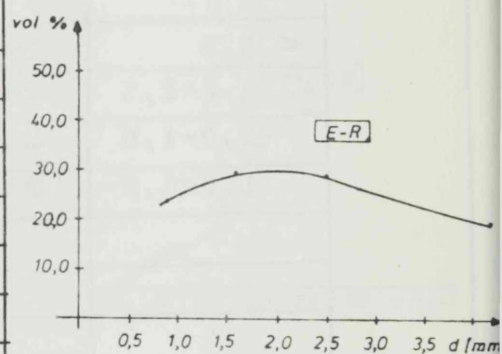




KARAKTERISTIKE FILTARSKE ISPUNE

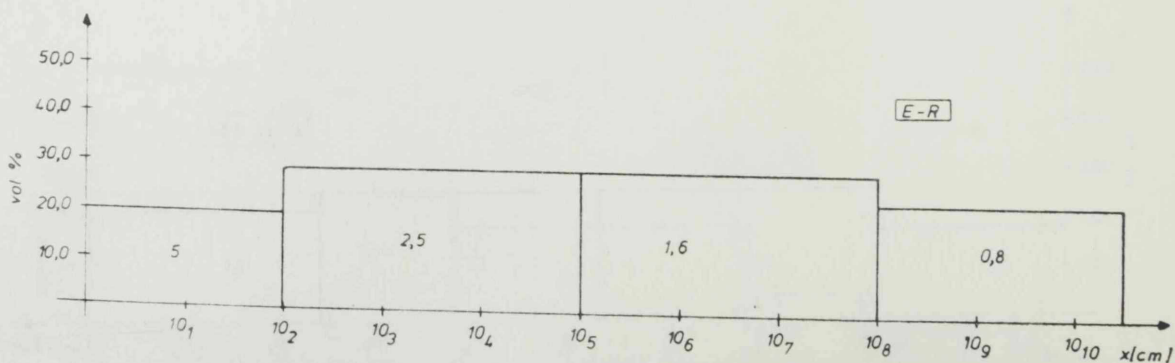
- Nasipna gustina /kg/m³/ρ_N = 86
- Gustina EPS /kg/m³/ρ = 168
- Gran.sastav:
- Ekvivalentni prečnik /mm/d_E = 1,62
- Efektivni prečnik /mm/ d₁₀ = 0,8
- Koeficijent uniformnosti K_N = 3,68

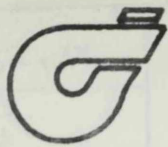
FRAKCIJE /mm/	% vol.	NASIPNA GUSTINA
< 5,0	19,0	15,30
3,0-2,5	28,60	50,00
2,0-1,6	28,60	100,00
1,0-0,8	23,80	200,00



- Poroznosti ispune:
- Homogenizovane ε = -
- Isklasirane, sabijene ε_s = 0,47
- Isklasirane, nesabijene ε_n = 0,50

- Aktivna površina /m²/m³/:
- Zrna a₀ = 3704
- Sloja, a = 1947
- Ukupna, a_U = 1997
- Sloja, a_N = 1852
- Ukupna, a_{UN} = 1902

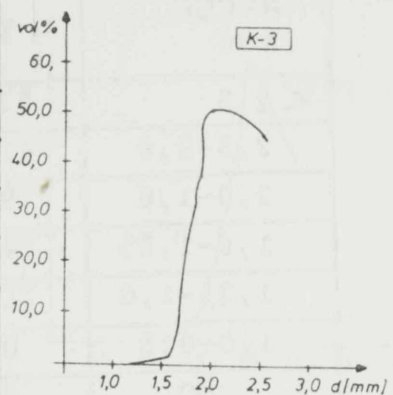




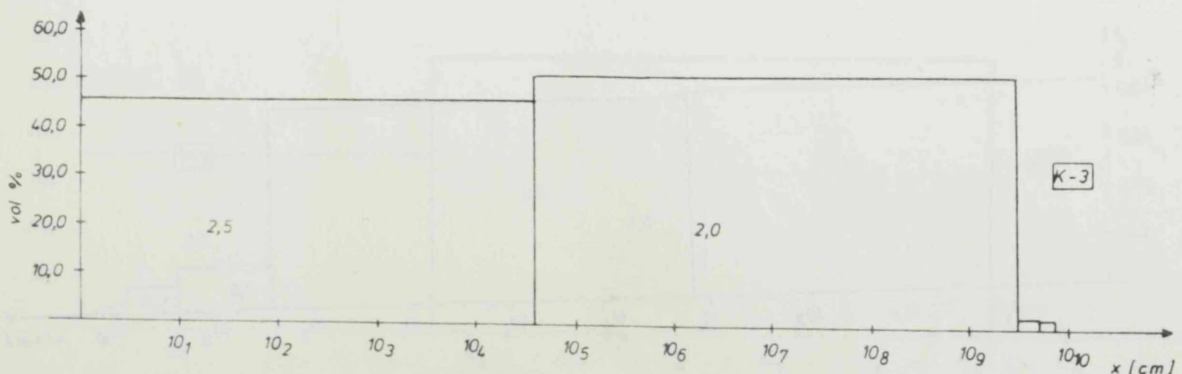
KARAKTERISTIKE FILTARSKE ISPUNE

- Nasipna gustina /kg/m³/ρ_N = 16
- Gustina EPS /kg/m³/ρ = 25
- Gran.sastav:
- Ekvivalentni prečnik /mm/d_E = 2,15
- Efektivni prečnik /mm/ d₁₀ = 2,05
- Koeficijent uniformnosti K_N = 1,35

FRAKCIJE /mm/	% vol.	NASIPNA GUSTINA
< 2,5	46,04	16,08
2,5-2,0	50,64	15,32
2,0-1,6	1,66	18,61
DNO	1,66	21,94



- Poroznosti ispunе:
- Homogenizovane ε = 0,36
- Isklāsirane, sabijene ε_s = 0,36
- Isklāsirane, nesabijene ε_n = 0,39
- Aktivna površina /m²/m³/:
- Zrna a₀ = 2790
- Sloja, a = 1788
- Ukupna, a_u = 1838
- Sloja, a_N = 1702
- Ukupna, a_{uN} = 1752

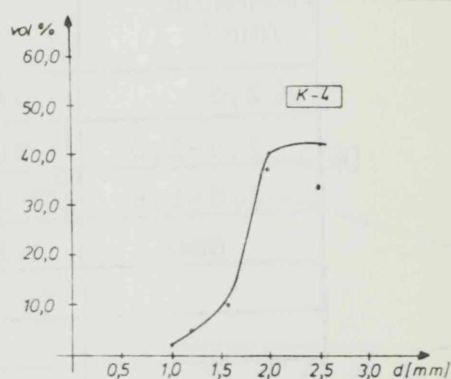




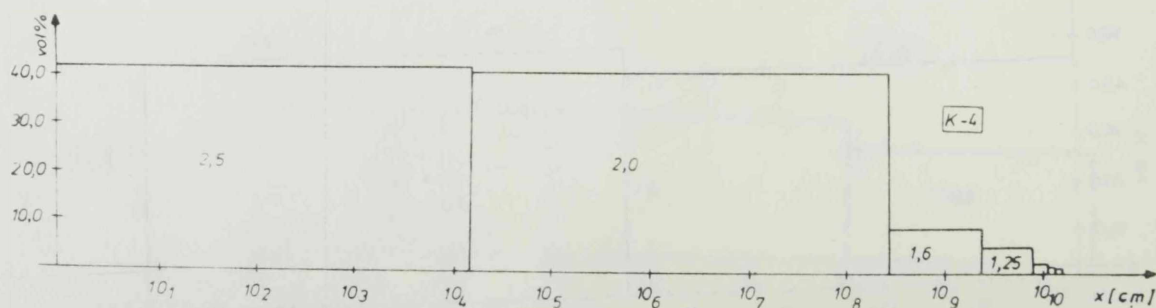
KARAKTERISTIKE FILTARSKE ISPUNE

- Nasipna gustina /kg/m³/ρ_N = 50
- Gustina EPS /kg/m³/ρ = 90
- Gran.sastav:
- Ekvivalentni prečnik /mm/d_E = 2,02
- Efektivni prečnik /mm/ d₁₀ = 1,75
- Koeficijent uniformnosti K_N = 1,57

FRAKCIJE /mm/	% vol.	NASIPNA GUSTINA
< 2,5	42,35	40,58
2,5-2,0	41,29	45,85
2,0-1,6	9,53	84,03
1,6-1,25	4,87	86,09
1,25-1,0	1,60	111,99
1,0-0,8	0,28	69,21
DNO	0,11	30,00



- Poroznosti ispunje:
 - Homogenizovane ε = 0,37
 - Isklasirane, sabijene ε_s = 0,44
 - Isklasirane, nesabijene ε_n = 0,47
- Aktivna površina /m²/m³/:
 - Zrna a₀ = 2970
 - Sloja, a = 1660
 - Ukupna, a_U = 1710
 - Sloja, a_N = 1574
 - Ukupna, a_{UN} = 1624

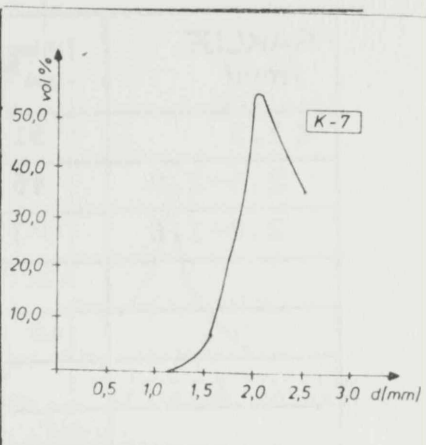




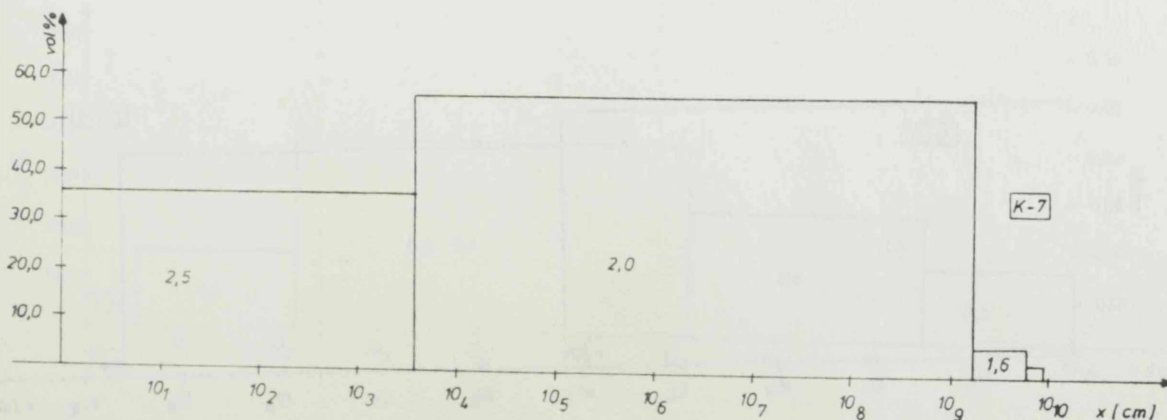
KARAKTERISTIKE FILTARSKE ISPUNE

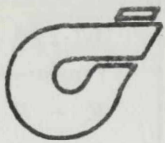
- Nasipna gustina /kg/m³/g_N = 25
- Gustina EPS /kg/m³/g = 45
- Gran.sastav:
- Ekvivalentni prečnik /mm/d_E = 2,01
- Efektivni prečnik /mm/ d₁₀ = 2,03
- Koeficijent uniformnosti K_N = 1,35

FRAKCIJE /mm/	% vol.	NASIPNA GUSTINA
< 2,5	35,96	22,19
2,5-2,0	56,18	27,4
2,0-1,6	5,62	4,8
DNO	2,25	50,0



- Poroznosti ispunje:
- Homogenizovane $\epsilon = -$
- Isklasirane, sabijene $\epsilon_s = 0,45$
- Isklasirane, nesabijene $\epsilon_n = 0,48$
- Aktivna površina /m²/m³/:
- Zrna a₀ = 2985
- Sloja, a = 1646
- Ukupna, a_U = 1696
- Sloja, a_N = 1552
- Ukupna, a_{UN} = 1602

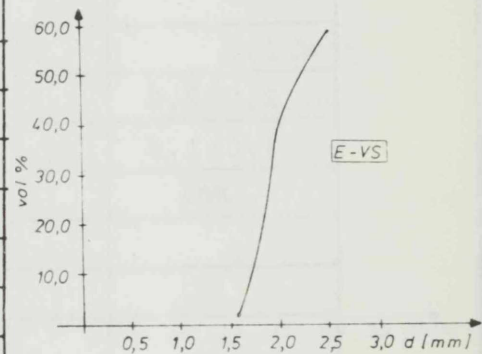




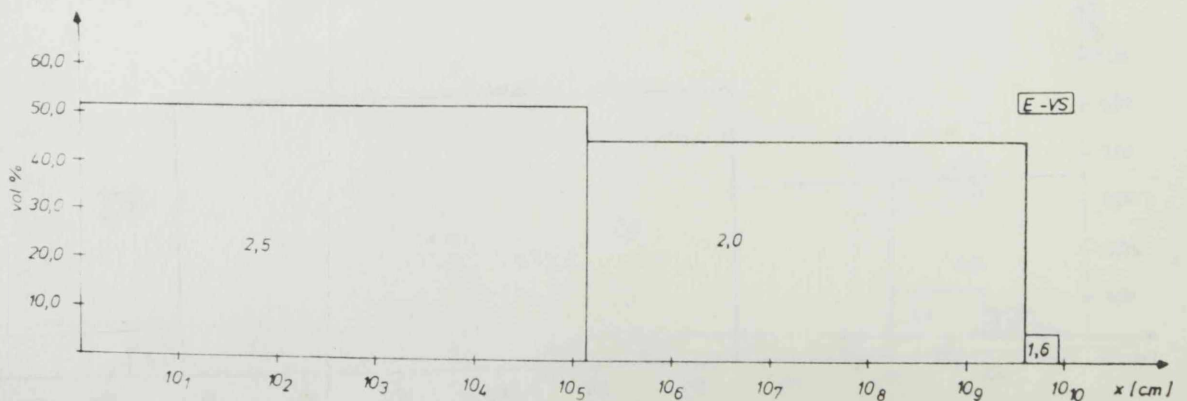
KARAKTERISTIKE FILTARSKE ISPUNE

- Nasipna gustina /kg/m³/ρ_N = 80
- Gustina EPS /kg/m³/ρ = 120
- Gran.sastav:
- Ekvivalentni prečnik /mm/d_E = 2,26
- Efektivni prečnik /mm/ d₁₀ = 2,1
- Koeficijent uniformnosti K_N = 1,34

FRAKCIJE /mm/	% vol.	NASIPNA GUSTINA
< 2,5	51,28	58,94
2,5-2,0	45,06	39,29
2,0-1,6	3,66	1,77



- Poroznosti ispunje:
- Homogenizovane ε = -
- Isklasiране, sabijene ε_s = 0,33
- Isklasiране, nesabijene ε_n = 0,36
- Aktivna površina /m²/m³/:
- Zrna a₀ = 2660
- Sloja, a = 1790
- Ukupna, a_U = 1840
- Sloja, a_N = 1702
- Ukupna, a_{UN} = 1752

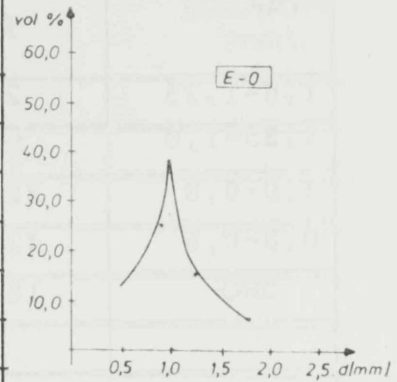




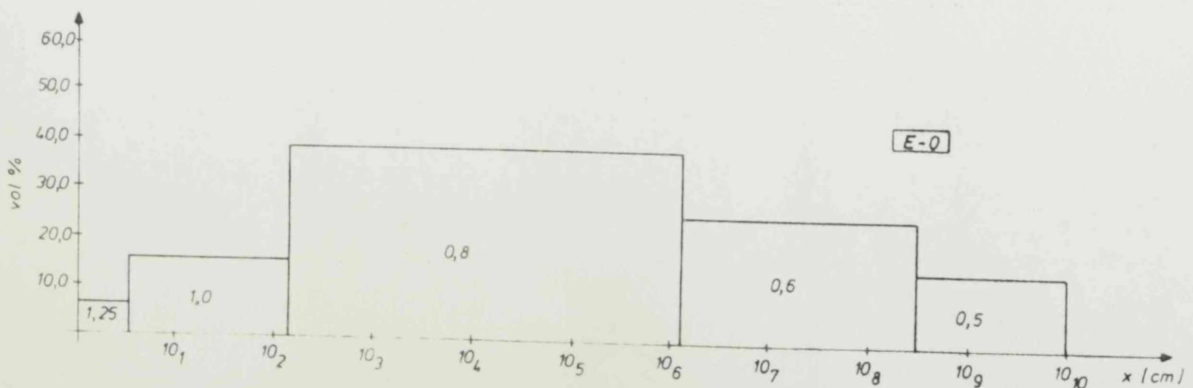
KARAKTERISTIKE FILTARSKE ISPUNE

- Nasipna gustina /kg/m³/g_N = 154
- Gustina EPS /kg/m³/g = 246,6
- Gran.sastav:
- Ekvivalentni prečnik /mm/d_E = 0,72
- Efektivni prečnik /mm/ d₁₀ = 0,52
- Koeficijent uniformnosti K_N = 1,96

FRAKCIJE /mm/	% vol.	NASIPNA GUSTINA
< 1,25	6,11	110
1,25-1,0	15,80	154
1,0-0,8	38,90	149
0,8-0,6	25,0	-
DNO	14,0	-



- Poroznosti ispunje:
- Homogenizovane $\epsilon = -$
- Isklisirane, sabijene $\epsilon_s = 0,40$
- Isklisirane, nesabijene $\epsilon_n = 0,45$
- Aktivna površina /m²/m³/:
- Zrna a₀ = 8333
- Sloja, a = 5033
- Ukupna, a_U = 5083
- Sloja, a_N = 4608
- Ukupna, a_{UN} = 4658

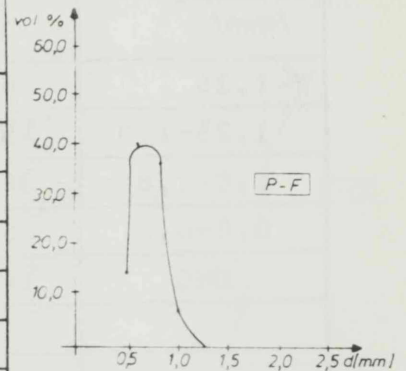




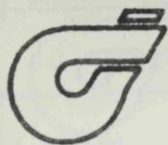
KARAKTERISTIKE FILTARSKE ISPUNE

- Nasipna gustina $/\text{kg}/\text{m}^3/\rho_N = 1449$
- Gustina EPS $/\text{kg}/\text{m}^3/\rho = 2630$
- Gran.sastav:
- Ekvivalentni prečnik $/\text{mm}/d_E = 0,75$
- Efektivni prečnik $/\text{mm}/d_{10} = 0,56$
- Koeficijent uniformnosti $K_N = 1,44$

FRAKCIJE /mm/	% tež.	NASIPNA GUSTINA
1,6-1,25	2,55	—
1,25-1,0	0,73	—
1,0-0,8	38,2	—
0,8-0,6	42,1	—
DNO	16,4	—



- Poroznosti ispunje:
- Homogenizovane $\epsilon = 0,45$
- Isklasirane, sabijene $\epsilon_s = -$
- Isklasirane, nesabijene $\epsilon_n = -$
- Aktivna površina $/\text{m}^2/\text{m}^3/:$
- Zrna $a_0 = 8000$
- Sloja, $a = 4408$
- Ukupna, $a_U = 4458$
- Sloja, $a_N = -$
- Ukupna, $a_{uN} = -$

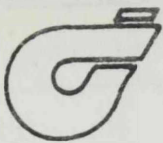


KARAKTERISTIKE FILTARSKE ISPUNE

- Nasipna gustina /kg/m³/ $\rho_N = 149$
- Gustina EPS /kg/m³/ $\rho = 223,35$
- Gran.sastav:
- Ekvivalentni prečnik /mm/ $d_E = 1,0$
- Efektivni prečnik /mm/ $d_{10} = 1,0$
- Koeficijent uniformnosti $K_N = 1,0$

FRAKCIJE /mm/	% vol.	NASIPNA GUSTINA	
1,0	100	149	

- Poroznosti ispune:
- Homogenizovane $\epsilon = 0,33$
- Isklasirane, sabijene $\epsilon_s = 0,33$
- Isklasirane, nesabijene $\epsilon_n = 0,37$
- Aktivna površina /m²/m³/:
- Zrna $a_0 = 6000$
- Sloja, $a = 4002$
- Ukupna, $a_u = 4052$
- Sloja, $a_N = 3780$
- Ukupna, $a_{uN} = 3830$

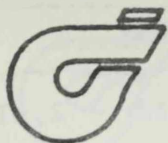


KARAKTERISTIKE FILTARSKE ISPUNE

- Nasipna gustina $/\text{kg}/\text{m}^3/\rho_N = 37$
- Gustina EPS $/\text{kg}/\text{m}^3/\rho = 65$
- Gran.sastav:
- Ekvivalentni prečnik $/\text{mm}/d_E = 1,6$
- Efektivni prečnik $/\text{mm}/d_{10} = 1,6$
- Koeficijent uniformnosti $K_N = 1,0$

FRAKCIJE /mm/	% vol.	NASIPNA GUSTINA	
1,6	100	37	

- Poroznosti ispune:
- Homogenizovane $\epsilon = 0,43$
- Isklasirane, sabijene $\epsilon_s = 0,43$
- Isklasirane, nesabijene $\epsilon_n = 0,46$
- Aktivna površina $/\text{m}^2/\text{m}^3/$:
- Zrna $a_0 = 3750$
- Sloja, $a = 2141$
- Ukupna, $a_U = 2191$
- Sloja, $a_N = 2010$
- Ukupna, $a_{UN} = 2060$

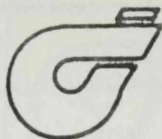


KARAKTERISTIKE FILTARSKE ISPUNE

- Nasipna gustina /kg/m³/g_N = 116
- Gustina EPS /kg/m³/g = 190
- Gran.sastav:
- Ekvivalentni prečnik /mm/d_E = 1,6
- Efektivni prečnik /mm/ d₁₀ = 1,6
- Koeficijent uniformnosti K_N = 1,0

FRAKCIJE /mm/	% vol.	NASIPNA GUSTINA	
1,6	100	116	+

- Poroznosti ispune:
- Homogenizovane $\epsilon = 0,39$
- Isklasirane, sabijene $\epsilon_s = 0,39$
- Isklasirane, nesabijene $\epsilon_n = 0,42$
- Aktivna površina /m²/m³/:
- Zrna a₀ = 3750
- Sloja, a = 2291
- Ukupna, a_U = 2341
- Sloja, a_N = 2175
- Ukupna, a_{UN} = 2225

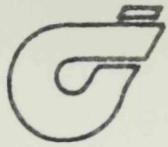


KARAKTERISTIKE FILTARSKE ISPUNE

- Nasipna gustina $/\text{kg}/\text{m}^3/\rho_N = 37$
- Gustina EPS $/\text{kg}/\text{m}^3/\rho = 65$
- Gran.sastav:
- Ekvivalentni prečnik $/\text{mm}/d_E = 1,6$
- Efektivni prečnik $/\text{mm}/d_{10} =$
- Koeficijent uniformnosti $K_N =$

FRAKCIJE /mm/	% vol.	NASIPNA GUSTINA	
2,0	100	37	

- Poroznosti ispune:
- Homogenizovane $\epsilon =$
- Isklasirane, sabijene $\epsilon_s =$
- Isklasirane, nesabijene $\epsilon_n =$
- Aktivna površina $/\text{m}^2/\text{m}^3/:$
- Zrna $a_0 =$
- Sloja, $a =$
- Ukupna, $a_U =$
- Sloja, $a_N =$
- Ukupna, $a_{UN} =$



KARAKTERISTIKE FILTARSKE ISPUNE

- Nasipna gustina $/\text{kg}/\text{m}^3/\varrho_N = 74,3$
- Gustina EPS $/\text{kg}/\text{m}^3/\varrho = 118,9$
- Gran.sastav:
- Ekvivalentni prečnik $/\text{mm}/d_E = 2,0$
- Efektivni prečnik $/\text{mm}/d_{10} = 2,0$
- Koeficijent uniformnosti $K_N = 1,0$

FRAKCIJE /mm/	% vol.	NASIPNA GUSTINA	
2,0	100	74,3	

- Poroznosti ispune:
- Homogenizovane $\epsilon = 0,38$
- Isklasirane, sabijene $\epsilon_s = 0,38$
- Isklasirane, nesabijene $\epsilon_n = 0,42$
- Aktivna površina $/\text{m}^2/\text{m}^3/$:
- Zrna $a_0 = 3000$
- Sloja, $a = 1860$
- Ukupna, $a_U = 1910$
- Sloja, $a_N = 1740$
- Ukupna, $a_{UN} = 1790$

9.5.1. Analiza zavisnosti osobina polidisperznih ispuna

Pregled osnovnih karakteristika polidisperznih ispuna daje se u tabeli 9.6.

Može se uočiti, da odabrane ispune pružaju mogućnost analize uticaja fenomena na hidrodinamičke veličine i filtraciju:

- uticaj gustine EPS za $d_E = \text{const}$
- uticaj koeficijenta uniformnosti ispune za $d_E = \text{const}$,
 $\rho = \text{const}$.
- uticaj sabijenosti ispune

Analogno uradjenoj analizi i utvrđenim zakonitostima osnovnih veličina monodisperznih ispuna, analizirane su zavisnosti osobina i polidisperznih ispuna

- zavisnost gustine ρ od nasipne gustine ρ_N
- zavisnost poroznosti ispune (ϵ_S i ϵ_N) od gustine ρ EPS
- zavisnost poroznosti sloja (ϵ_S i ϵ_N) od ekvivalentnog prečnika ispune d_E

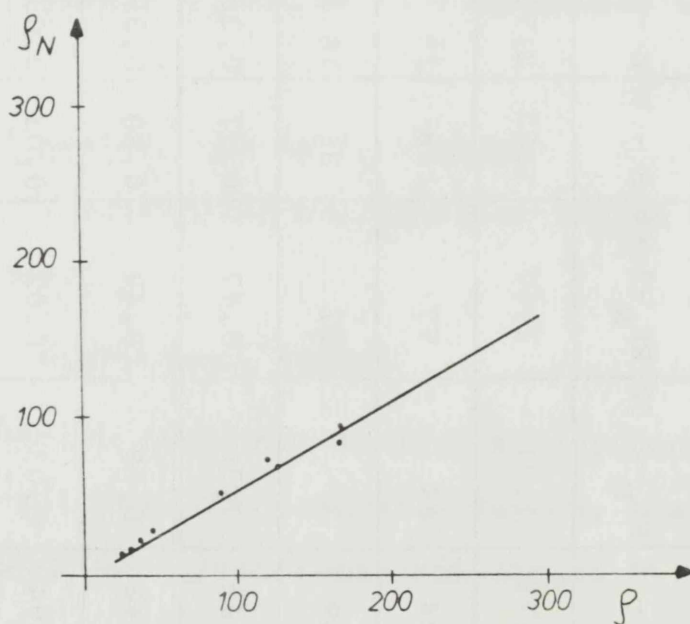
TABELA 9.6. OSNOVNE KARAKTERISTIKE POLIDISPERZNIH ISPUNA KORIŠĆENIH U EKSPERIMENTALNOM RADU

Oznaka ispune	K - 1	E-K-1T	K - 2	K - 5	K - 6	E _{K_N} ^{-2,32}	E _{K_N} ^{-3,68}	E - R	K - 3	K - 4	K - 7	E - VS	E - O	P - F
d _E	1,34	1,34	1,77	1,77	1,71	1,71	1,62	1,62	2,15	2,02	2,01	2,26	0,92	0,75
ρ	37	210	31	173	124	64	55	168	25	90	45	120	247	2630
ρ _N	21	117	18	94	69	39	27	86	16	50	25	80	-	1449
ε _S	0,43	0,39	0,41	0,46	0,44	0,36	0,47	0,47	0,36	0,44	0,45	0,33	0,40	0,45
ε _N	0,45	0,43	0,44	0,50	0,48	0,39	0,49	0,50	0,39	0,47	0,48	0,36	-	-
Δε ₁	0,02	0,04	0,03	0,04	0,04	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	-	-

$$\Delta \epsilon_1 = \epsilon_N - \epsilon_S$$

Kao i za monodisperzne ispune i kod polidisperznih nasipna gustina ρ_N je linearno zavisna od gustine ρ .

Rezultati prikazani na slici 9.9.



Slika 9.9. Zavisnost $\rho_N = f(\rho)$ polidisperzne ispune
 $d_E = 1,0 - 2,0$ [mm]

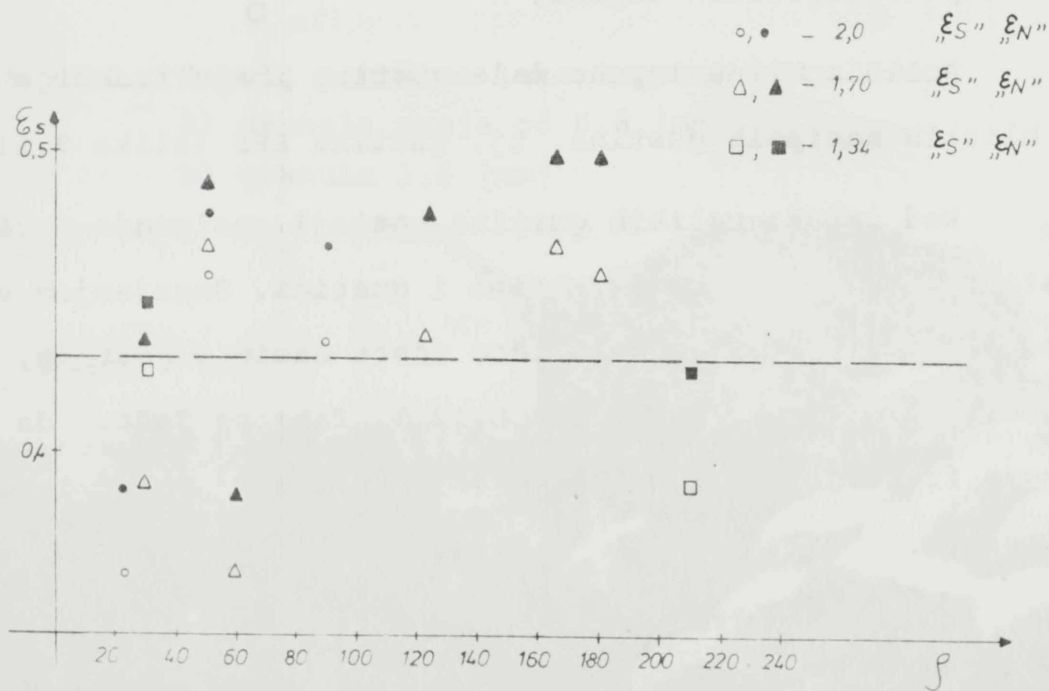
Zavisnost $\rho_N = f(\rho)$ može se opisati jednačinom prave uz koeficijent korelacije $k = 0,9862$.

$$\rho_N = 0,54\rho + 2,54$$

(9.9.)

Data zavisnost (9.9.) omogućava odredjivanje osnovnih karakteristika polidisperznih ispuna, analogno opisanoj proceduri kod monodisperznih ispuna.

Na slici 9.10. prikazane su vrednosti ϵ za različite vrednosti gustine EPS pri $d_E = \text{const.}$



Slika 9.10. Vrednosti ϵ_S i ϵ_N za različite vrednosti gustine EPS, $d_E = \text{const.}$

Iz prikazanih rezultata može se uočiti odsustvo matematičke zavisnosti poroznosti od gustine EPS. Nije utvrđena zavisnost poroznosti sloja ni od ekvivalentnog prečnika ispune.

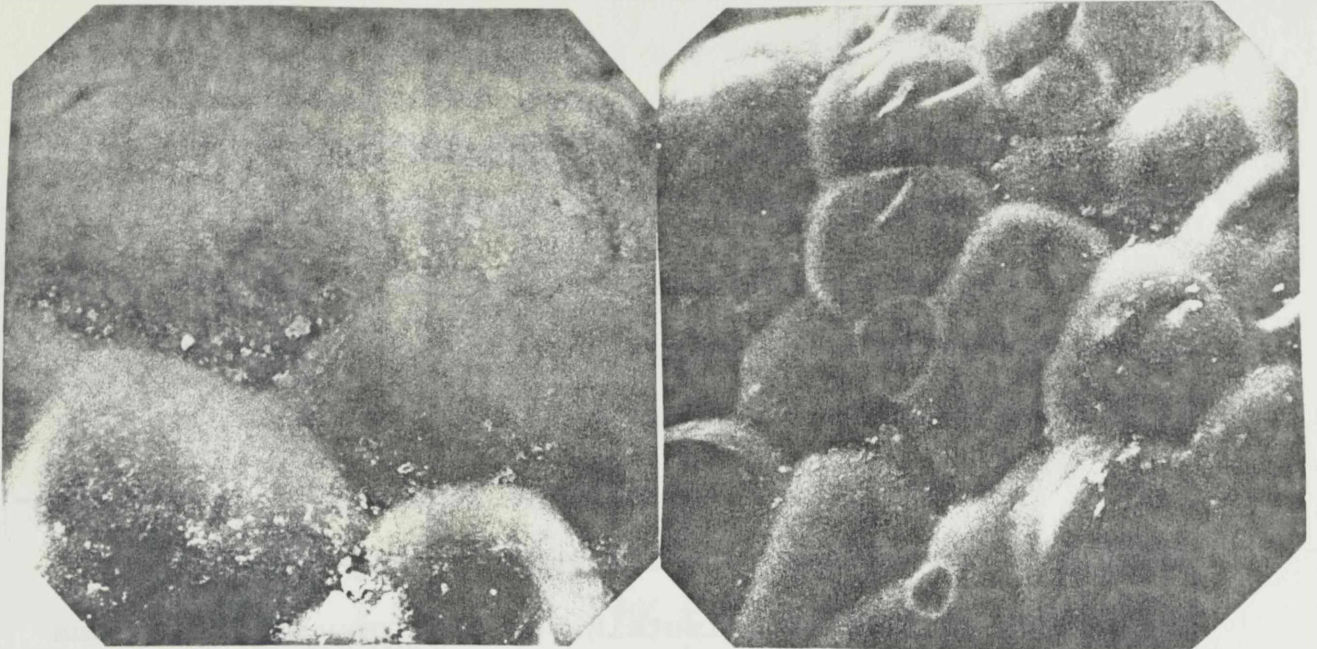
9.5.2. Specifičnost polidisperznih ispuna

Navedena pojava kod teških monodisperznih ispuna nemonolitnosti gustina granula vrlo je upečatljiva kao pojava kod polidisperznih ispuna.

Polidisperzne ispune male gustine imaju frakcije vrlo bliskih nasipnih gustina, tj. gustina EPS (slika 9.11.).

Kod ispuna velikih gustina postoji rasipanje nasipnih gustina između frakcija, a time i gustina. Smanjenjem veličine čestica frakcije, drastično raste nasipna gustina, odnosno gustina frakcije (slika 9.12.). Tako se dešava da su krupne frakcije u domenu lakog EPS, a sitne u domenu izrazito teškog.

Može se podvući da se nemonolitnost gustine EPS kod monodisperznih frakcija odražava na različite gustine granula, dok se kod polidisperznih ispuna nemonolitnost javlja i kod različite gustine frakcija.



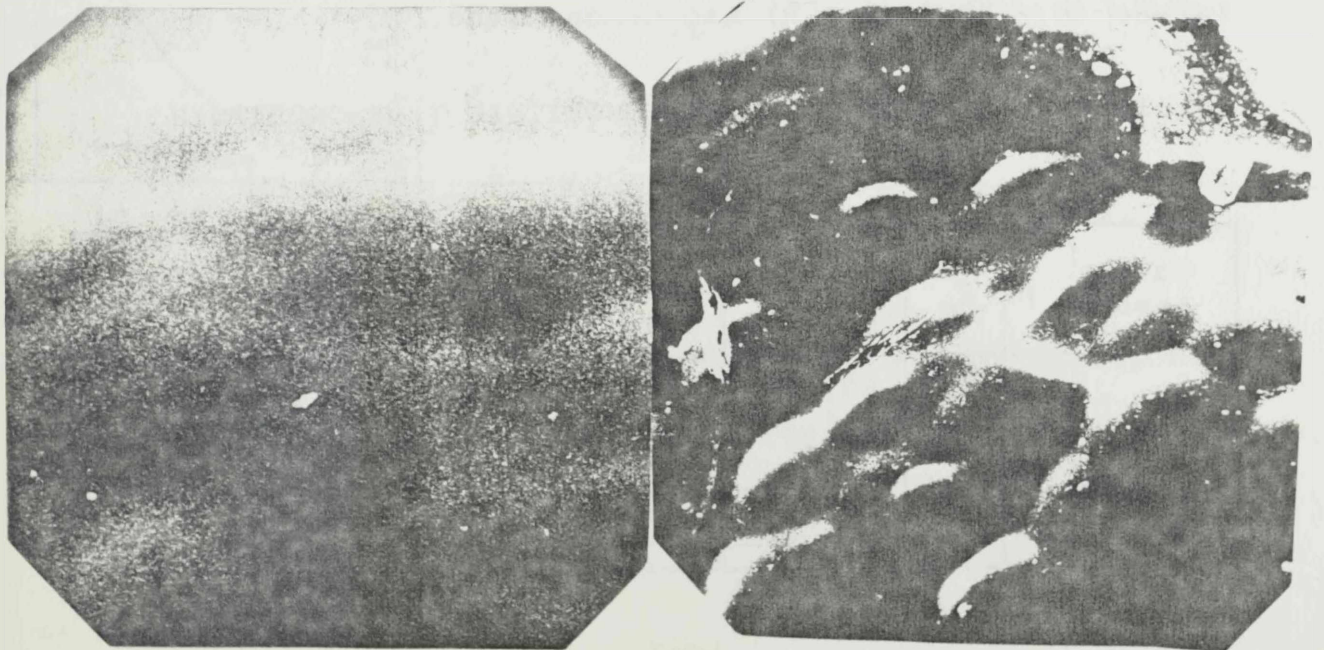
a

b

Slika 9.11. Detalj površine lake ispune, SEM x 300

a) granula manja od 0,8 |mm|

b) granula 1,6 |mm|



a

b

Slika 9.12. Detalj površine teške ispune

a) granula 1 |mm|, SEM x 600

b) granula 1,25 |mm|, SEM x 300

Gustina teške polidisperzne ispune praktično, tada predstavlja prosečnu gustinu prisutnih frakcija.

Pojava nemonolitnosti teških polidisperznih ispuna objašnjava naizgled nastale nejasnoće oko uticaja gustine na praćene fenomene u eksperimentalnom radu.

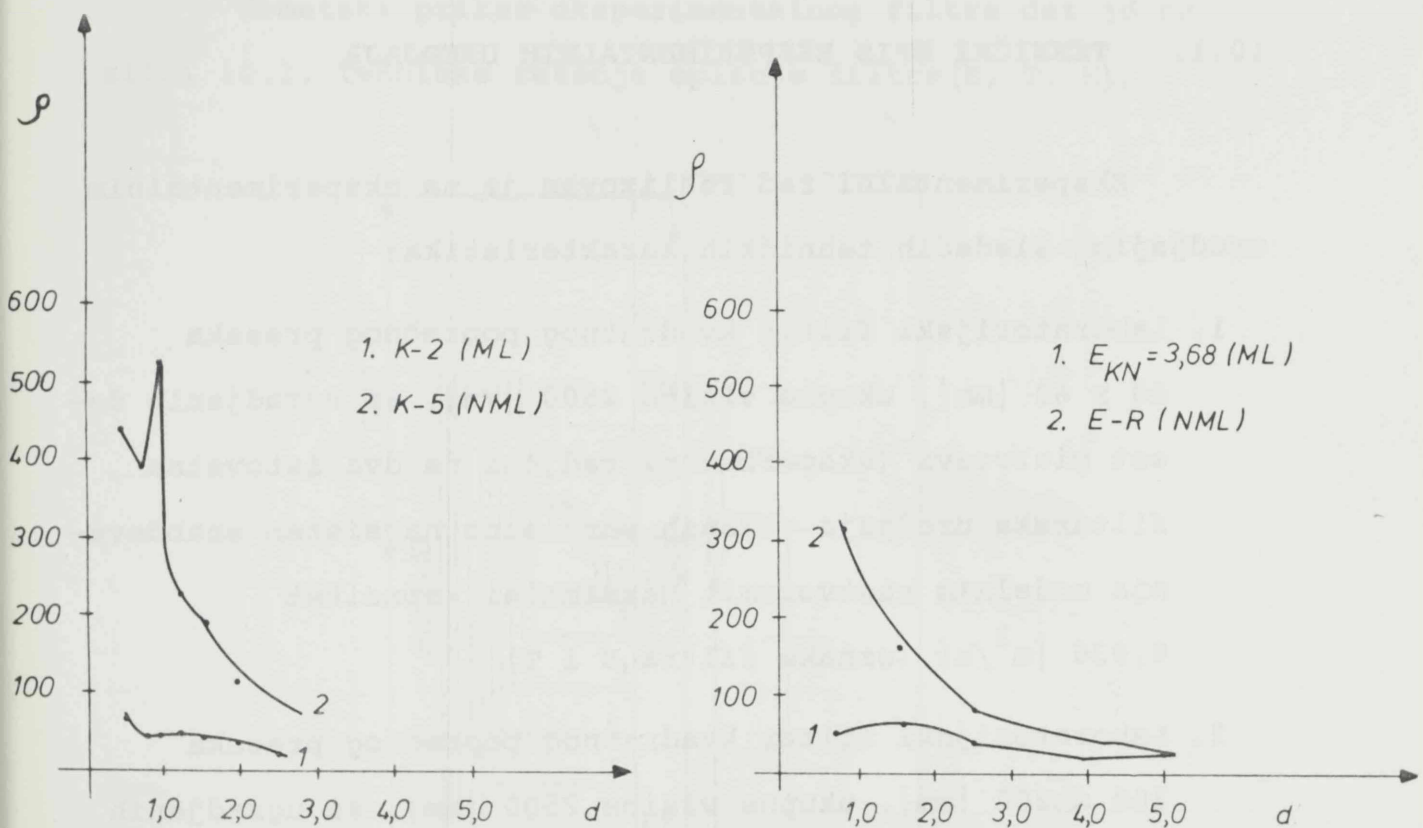
Izrazit primer nemonolitne ispune predstavlja ispuna (K - 5) sa gustinom $\rho = 173 \text{ [kg/m}^3\text{]}$, koja je naizgled teška, dok je više od prisutnih 80% čestica, sa vrha prema dnu ispune u domenu srednje lakih frakcija.

U tabeli 9.7. daju se vrednosti gustina pojedinih frakcija za ispune (K - 2) i ($E_{k_N} = 3,68$) kao monolitne i ispune (K - 5) i (E - R) kao nemonolitne.

Tabela 9.7. GUSTINE FRAKCIJA MONOLITNIH I NEMONOLITNIH ISPUNA

Oznaka ispune	ρ	d_E	ρ - frakcija							
			DNO	0,8	1,0	1,25	1,6	2,0	2,5	5,0
K-2	31	1,77	65	41	41	40	36	33	19	-
K-5*	173	1,77	444	397	523	221	182	117	92	-
$E_{k_N}=3,68$	55	1,62	-	50	-	-	64	-	42	30
E-R*	168	1,62	-	319	-	-	162	-	84	30

Jasnu sliku nemonolitnosti ispuna daje grafički prikaz zavisnosti gustine frakcija različite veličine granula (slika 9.13)



Slika 9.13. Rasipanje gustine frakcija polidisperznih ispuna
1. Monolitne (ML)
2. Nemonolitne (NML)

10.0. EKSPERIMENTALNI UREDJAJ

FILTAR F - EPS / 04

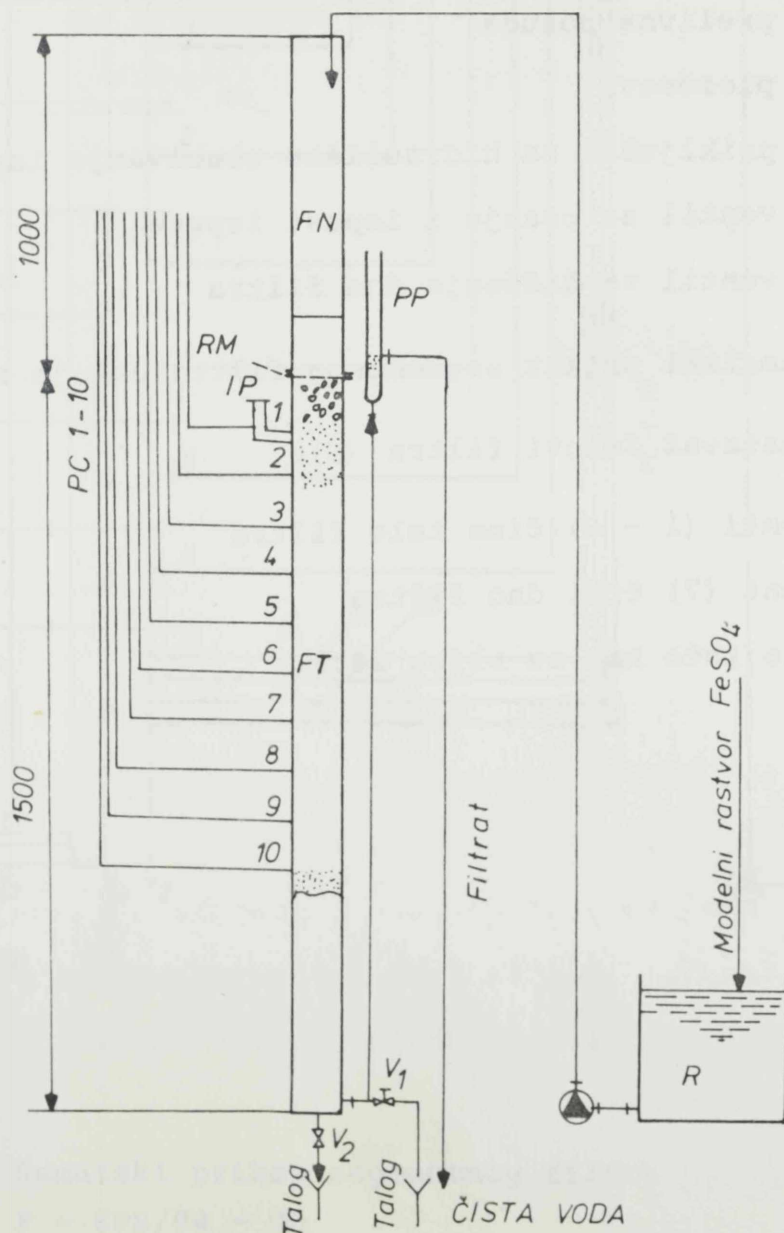
10.1. TEHNIČKI OPIS EKSPERIMENTALNIH UREDJAJA

Eksperimentalni rad realizovan je na eksperimentalnim uređjajima sledećih tehničkih karakteristika:

1. Laboratorijski filter kvadratnog poprečnog preseka 60×60 [mm], ukupne visine 2500 [mm], sa ugradjenih deset piezocevi (eksperimenti radjeni na dva istovetna filtarska uređjaja vezanih paralelno na sistem snabdevanja modelnim rastvorom). Maksimalni kapacitet $0,036$ [m³/h] (oznake filtra E i T)
2. Laboratorijski filter kvadratnog poprečnog preseka 200×200 [mm], ukupne visine 2500 [mm], sa ugradjenih pet piezocevi. Maksimalni kapacitet $0,4$ [m³/h] (oznaka filtra M)
3. Laboratorijski filter kružnog poprečnog preseka $\phi 52$ [mm], koji ima mogućnost rada ili pod pritiskom ili kao gravitacioni filter. Filter je izradjen od 6 segmenta dužine 200 [mm], sa ugradjenim piezopriključkom na svakom segmentu, jednim segmentom za dno, dužine 500 [mm], sa ugradjenih 4 piezopriključka. Filter je

montažno-demontažnog tipa (segmentni filter) te omogućava ogledne proučavanja kinetike filtracije (oznaka filtra S).

Šematski prikaz eksperimentalnog filtra dat je na slici 10.1. Tehničko rešenje opisuje filtre (E, T, M).



Slika 10.1. Šematski prikaz eksperimentalnog filtra F-EPS/04

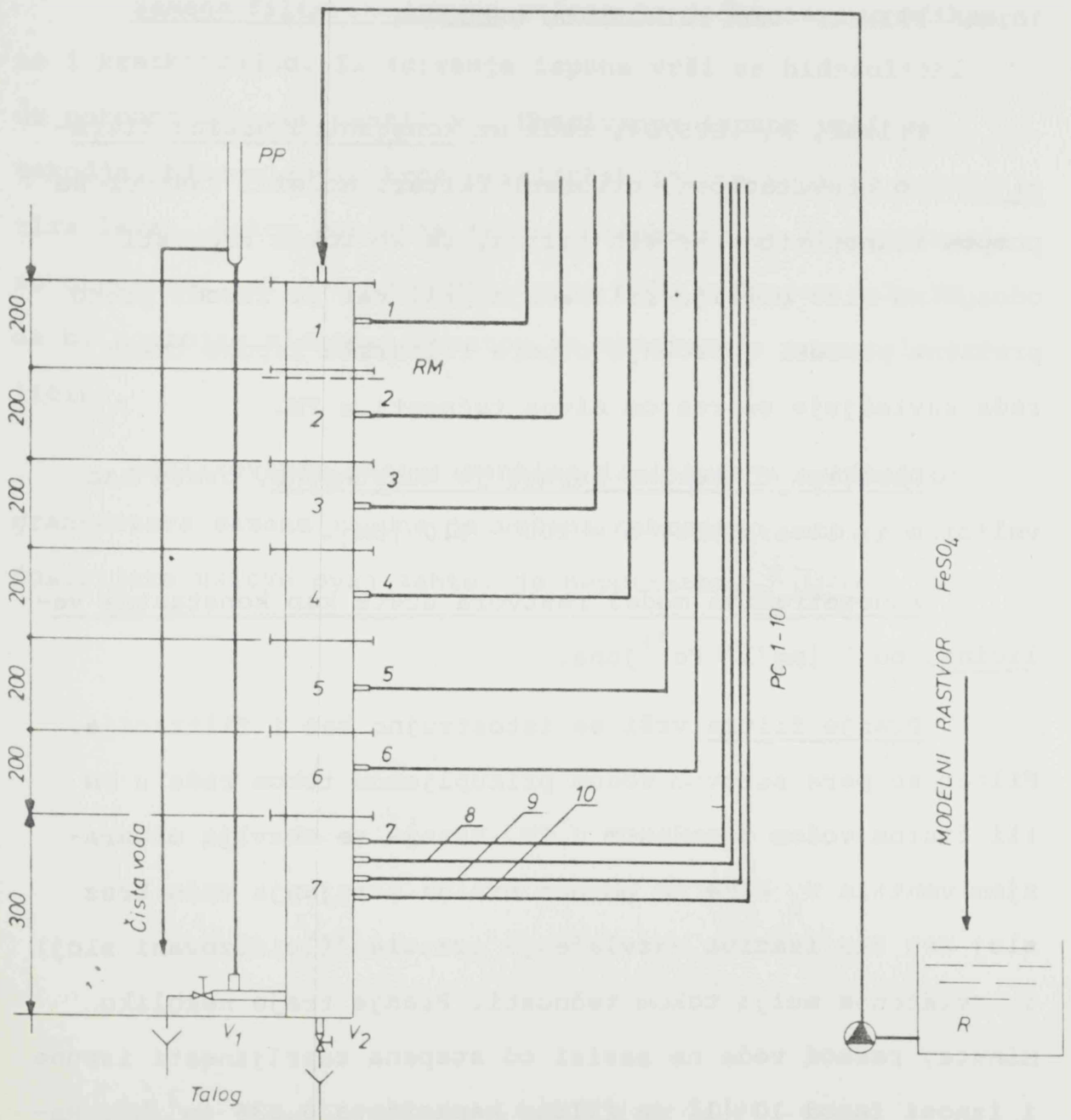
Sastavni delovi filtra:

- FT - telo filtra
- FN - nadgradnja filtra
- RM - razdelna mreža
- R - rezervoar za modelni rastvor
- PP - prelivna posuda
- PC - piezocevi
- IP - priključak za hidrauličko ubacivanje ispune
- V_1 - ventil za pranje i ispust ispune
- V_2 - ventil za čišćenje dna filtra

Šematski prikaz segmentnog filtra dat je na slici 10.2.

Sastavni delovi filtra (S):

- segmenti (1 - 6) čine telo filtra
- segment (7) čini dno filtra
- ostalo isto kao uz sliku 10.1.



Slika 10.2. Šematski prikaz segmentnog filtra
F - EPS/04 - (S)

10.2. PRINCIP RADA FILTARSKOG UREDJAJA

Filtar, F - EPS/04, radi uz konstantnu brzinu filtracije, kao gravitacioni, otvoreni filter. Modelni rastvor se pumpom transportuje na vrh filtra, te se tokom tečnosti odzgo na niže obavlja filtracija. Filtrat se izvodi preko prelivne posude. Povećanje otpora filtarske ispune tokom rada savladjuje se rastom nivoa tečnosti u FN.

Debljina filtarske ispune je konstantna, uzeta kao veličina iz literature, $X = 100 - 110 \text{ |cm|}$.

Koncentracija model rastvora uzeta kao konstantna veličina, od 5 |mg/l| Fe^{2+} jona.

Pranje filtra vrši se istostrujno kao i filtracija. Filtar se pere sirovom vodom prikupljenom tokom rada u FN ili čistom vodom dovedenom u FN. Pranje se obavlja otvaranjem ventila V_1 čime se poveća brzina strujanja vode kroz sloj EPS što izaziva razvlačenje granula (fluidizovani sloj) i izvlačenje mulja tokom tečnosti. Pranje traje nekoliko minuta, rashod vode ne zavisi od stepena zaprljanosti ispune i iznosi ispod 10 |l| za filter kapaciteta $0,036 \text{ |m}^3/\text{h|}$. Radi ilustracije, vreme trajanja filtarskog ciklusa kreće se u opsegu $10 - 50 \text{ |h|}$.

Zamena filtarske ispune rešena je jednostavno, efikasno i kratkotrajno. Izbacivanje ispune vrši se hidraulički uz potpuno otvoren ventil V_1 . Ubacivanje ispune vrši se, takodje, hidraulički, kroz priključak IP, na koji se namontira levak. Tokom punjenja ispune neophodno je diskontinualno otpuštati tečnost kako bi ispuna bila u donjem delu FT, da bi postojao slobodan prostor za ubacivanje preostale količine.

Realizovanim eksperimentima ispitivanja optimalnog gransastava zamena ispune je vršena nebrojeno puta. Za industrijske uslove ovaj zahtev je nepotreban.

10.3. SCALE - UP ZA APARATE SA NASUTIM SLOJEM

Kriterijumi sličnosti za granulisani sloj dati su u literaturi preko sledećih relacija (7,9).

Odnos prečnika aparata (D_{AP}) i veličine zrna (d_z) moraju biti

$$D_{AP}/d_z > 20 \quad (10.1.)$$

za uslove odnosa

$$D_{AP}/d_z < 10 \quad (10.2.)$$

uticaj zida je merljiv i u samom centru aparata.

Što se tiče zapremine sloja, neophodno je raditi sa zapreminom koja sadrži broj čestica \bar{n}

$$\bar{n} > 10000 \quad (10.3.)$$

Za granule oblika lopte, uticaj zida na strukturu sloja (vezano za povećanje poroznosti uza zid) kreće se 3 - 5 d_z .

Visina granulisanog sloja treba da se kreće u vrednosti definisanoj kriterijumom

$$H_{SL} > 20 d_z \quad (10.4.)$$

Prečnik uređjaja F - EPS/04 iznosi $a_F = 60$ [mm] što zadovoljava kriterijum (10.1.) i to:

Za maksimalno $d_E = 1,77$ [mm] korišćen u filtraciji

$$D_{AP}/d_z = 34$$

Za maksimalno $d_E = 2,0$ [mm] korišćen u hidraulici

$$D_{AP}/d_z = 30$$

Kriterijum (10.1.) nezadovoljava za najkrupnije granule $d_z = 5$ [mm] korišćene pri formulacijama ispuna sa $K_{NMAX} = 3,68$, u prvih 20 [cm] visine sloja

$$D_{AP}/d_z = 12$$

Kriterijum (10.3.) o broju čestica u datoj zapremini je zadovoljen.

Broj čestica u zapremini ispune računat je relacijom

$$n = \frac{(1 - \varepsilon) 6}{\pi d_z^3} V \quad (206, 207) \quad (10.5.)$$

Za vrednost $d_E = 2,0 \text{ |mm|}$, za maksimalnu vrednost $\varepsilon = 0,50$ i zapreminu ispune od $0,0036 \text{ |m}^3\text{|}$ broj čestica iznosi:

$$n = 429936 > 10000$$

Za slučaj maksimalnog $d_z = 5 \text{ |mm|}$ za slučaj monodisperzne ispune, broj čestica iznosi:

$$n = 27516 > 10000$$

Što se tiče uticaja zida na strukturu sloja i povećanje aktivne površine, uračunato je kroz veličinu a_u i a_{un} .

Vezano za kriterijum (10.4.), visina ispune $H_{SL} = 100 \text{ |cm|}$ korišćena je, kao i najčešće pri tehnološkom modelovanju filtracije, u svojoj realnoj vrednosti, što je bilo moguće usvojiti shodno ukupnim gabaritima uređaja.

Ipak, neophodno je, prokomentarisati razloge zbog čega je usvojen promer aparata $a_F = 60 \text{ |mm|}$.

Kako su eksperimenti koncipirani u smislu proučavanja uticaja kvaliteta EPS na proces filtracije, koji u svim formulacijama sa oznakom E, predstavljaju kvalitet, zahteva mimo redovne proizvodnje EPS, radi mogućnosti realizacije potrebne količine ispune, morala se minimizirati zapremina filtra.

Shodno tome, menjani su uslovi tehnologije ekspaniranja, željeni kvalitet EPS rasejavan, ručno, na sitima.

I povrh zadovoljavanja svih kriterijuma iz teorije sličnosti, uradjena je komparativna analiza na uređaju $a_F = 200 \text{ |mm|}$, u cilju utvrđivanja uticaja zida.

11.0. K O M P A R A T I V N A A N A L I Z A

F I L T A R S K I H I S P U N A

(Kvarcni pesak - EPS)

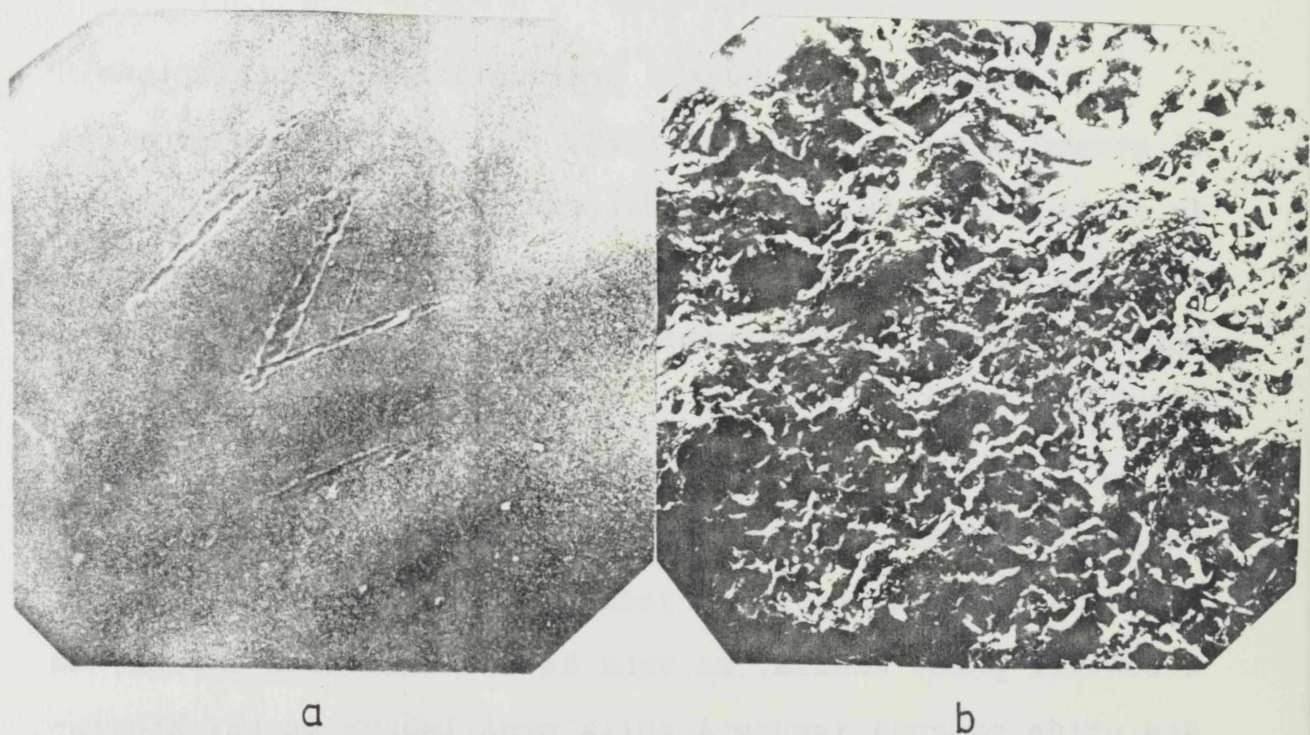
Pored svih navedenih prednosti EPS, komentarisanih od strane nekolicine autora (152, 153, 206-217), u ovom radu se daje uporedna analiza filtracije, za slučaj deferizacije, na kvarcnom pesku i na EPS jednakih d_E , pri ekvivalentnim svim operativnim parametrima - ispune sa oznakom (P-F) i (E-O).

Osnovne karakteristike ispuna date su u karakterizacionim listama. Može se podvući činjenica da su vrednosti poroznosti sloja približno jednake. Suštinska razlika je u strukturi pora, kanala, sa vrha ka dnu filtarske ispune, na šta utiče priroda ispune i oblik zrna ispune uz karakterističan fenomen klasiranja i pakovanja.

Potrebno je podvući da je (E-O) isklasiran, pripremljen za rad, sa svim potrebnim uslovima za optimalan režim, preporučenim u ovom radu.

Ispuna (E-O) je velike gustine što je manje povoljno za filtraciju, no za željeni ekvivalentni prečnik nije bilo moguće obezbediti ispunu male gustine EPS.

Detalj površine granule EPS i kvarcnog peska snimljene SEM - metodom date su na slici 11.1.



Slika 11.1. Detalj površine SEM x 300

a) EPS

b) kvarcni pesak

Što se tiče ispune (P - F) sloj nije formiran u krajnje nepovoljan položaj, nego u neko prosečno stanje opisano dalje u tekstu:

- gornji sloj od 30 |cm| nasut je peskom granulacije 0,6 - 0,8 |mm|

- u debljini od 40 |cm| nasuti homogenizovani sloj

$d_E = 0,67$ |mm|, a sadrži granule 0,6 - 1,25 |mm|

- donji sloj u debljini od 30 |cm| $d_E = 0,88$ |mm|, granule

0,8 - 1,25 |mm|

Rezultati odredjivanja hidrodinamičkih veličina dati su u poglavlju 13.0., tabela 25. i 26.

Poredjenjem veličina datih u tabeli 11.1. može se konstatovati da se pri strujanju tečnosti kroz EPS ekvivalentnog prečnika sa kvarcnim peskom realizuju mnogo manji gubici pritiska.

TABELA 11.1. VREDNOSTI A , K_F , K_P I K_{KK} ZA ISPUNE(E - O) I (P - F)

Oznaka ispune	A	$K_F 10^{-2}$	$K_P 10^{-9}$	K_{KK}
E - O	90	1,11	1,55	2,90
P - F	306	0,33	0,46	10,77

Što se tiče koeficijenta filtracije K_F , on je za kvarcni pesak oko tri puta manji, što ima za uzrok smanjenje propustljivosti ispune (P - F).

Jasno je da ove razlike, koje se drastično odražavaju na Carman - Kozeny konstantu kao i koeficijent hidrauličkog otpora moraju dati razlike i u filtraciji.

Treba naglasiti još jednu bitnu činjenicu:

- težina ispune (P - F) u filtru iznosila je 9,5 |kg|
- težina ispune (E - O) iznosila je 0,9 |kg|

Ispuna EPS, za dati kvalitet, je za oko deset puta lakša od kvarcnog peska, što je od značaja za gabarite i težinu uređaja kao i za pripremu tla.

Odsustvo nosećeg sloja šljunka kao i noseće ploče utiče da je filter (F - EPS/04) lakši od filtra sa kvarcnim peskom i preko 20 puta.

Sa aspekta pranja, EPS je takodje u prednosti:

- troši male količine vode
- troši male količine energije (kvarcni pesak pere se protivstrujno uz podizanje ispune za 30 - 50% od ukupne debljine)
- pranje traje svega nekoliko minuta

Rezultati filtarskih ciklusa pri filtraciji Fe^{2+} jona od 5 |mg/l|, uz tehnologiju deferizacije (TD-2) (opisano u poglavlju 14.8.), i brzini filtracije 5 |m/h|, dati su u tabeli 11.2.

TABELA 11.2. PRIKAZ REZULTATA FILTARSKIH CIKLUSA ZA ISPUNE (E - O) I (P - F)

Oznaka ispune	Dužina F cikl.	Kvalitet filtr.	$\frac{\Delta P}{L} = f(t)$	$(\frac{\Delta P}{L})_{max}$	H	H _o
E - O	30	0,07	$0,013t+0,193$ $k=0,926$	0,55	37	38
P - F	9	0,13	$0,053t+0,330$ $k=0,983$	0,80	0,42	57

Neophodno je podvući da su oba filtarska ciklusa završena uz izkorišćenje maksimalne visine FN.

Uočljiva je razlika u dužini filtarskog ciklusa kod (E - O), za oko tri puta (shodno odnosima iz hidraulike). U ovom slučaju, ne bi trebalo pridati veliki značaj kvalitetu filtrata, s obzirom na poznatu činjenicu da se posle

nekoliko stotina sati rada, na granulama kvarcnog peska, formira katalitička skrama koja utiče na povećanje efekta otklanjanja gvoždja.

U datom ogledu korišćene su obe ispune bez skrame $\text{Fe}(\text{OH})_3$, isprane mlazom vode. Eventualne promene tokom eksploatacije mogu uticati na promene veličina pri filtraciji, najviše na kvalitet filtrata, dok ne mogu bitno promeniti odnos dužina filtarskih ciklusa.

Uslovi pranja obe ispune ovde dolaze ponovo do izražaja. Pored činjenice da se manje energije troši za pranje EPS, kod EPS je pranje i mnogo redje, na tri pranja(P - F) obavlja se jedno pranje EPS formulacije(E - O). Kako je moguće formulirati ispune EPS sa dužinom filtarskog ciklusa i preko 40 sati, njegova prednost se ne može dovesti u pitanje.

12.0. FENOMENI KLASIRANJA PRI
PRANJU
EKSPANDIRANOG POLISTIRENA

12.1. TEHNIKA PRIPREME ISPUNE ZA OPTIMALNI REŽIM RADA

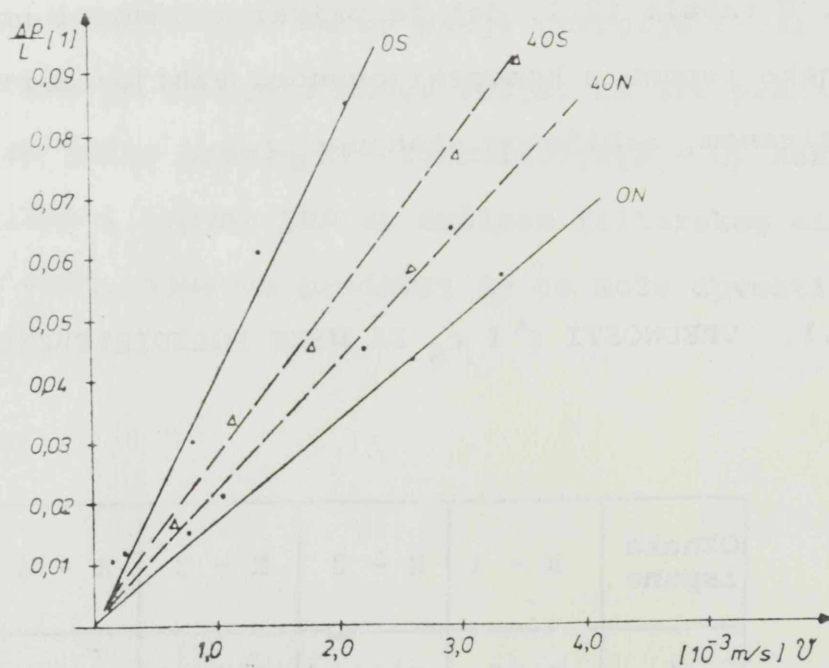
Po ubacivanju ispune u telo filtra, ona se nalazi u homogenizovanom stanju, čime je struktura sloja u potpunosti izmenjena. U tabeli 12.1. dat je prikaz vrednosti poroznosti sloja za neke ispune u homogenizovanom, sabijenom stanju, ϵ' , i u isklasiranom, sabijenom stanju ϵ_S .

TABELA 12.1. VREDNOSTI ϵ' I ϵ_S ZA NEKE POLIDISPERZNE ISPUNE

Oznaka ispune	K - 1	K - 2	K - 3 [*]	K - 4	K - 5
ϵ'	0,38	0,36	0,36	0,37	0,39
ϵ_S	0,43	0,41	0,36	0,44	0,46
$\Delta\epsilon_2$	0,05	0,05	0	0,07	0,07

^{*} $K_N = 1,35$

Iz prikazanih rezultata može se zaključiti da je uticaj stepena klasiranosti ispune veći od uticaja stepena sabijenosti, posmatrano sa aspekta promene vrednosti poroznosti ispuna ($\Delta\varepsilon_2 \gg \Delta\varepsilon_1$). Ovu činjenicu islustruje i primer prikazan na slici 12.1. Funkcionalna zavisnost $\frac{\Delta P}{L} = f(v)$ za homogenizovano, sabijeno i nesabijeno stanje ispune (K - 2) ("OS" i "ON"), ima veće razlike koeficijenata pravca datih pravih, nego kod pravih za istu isklasiranu ispunu u sabijenom i nesabijenom stanju ("4OS" i "4ON").



Slika 12.1. Zavisnost $\frac{\Delta P}{L} = f(v)$ za ispunu (K - 2)

Može se konstatovati da homogenizovanost izaziva veće gubitke pritiska za iste brzine strujanja kod sabijene i nesabijene ispune u odnosu na isklasiranu. Uticaj sabijenosti na gubitak pritiska manji je kod potpuno isklasirane ispune ("40S", "40N").

Postavlja se pitanje kada je ispuna dovedena u stanje potpune isklasiranosti?

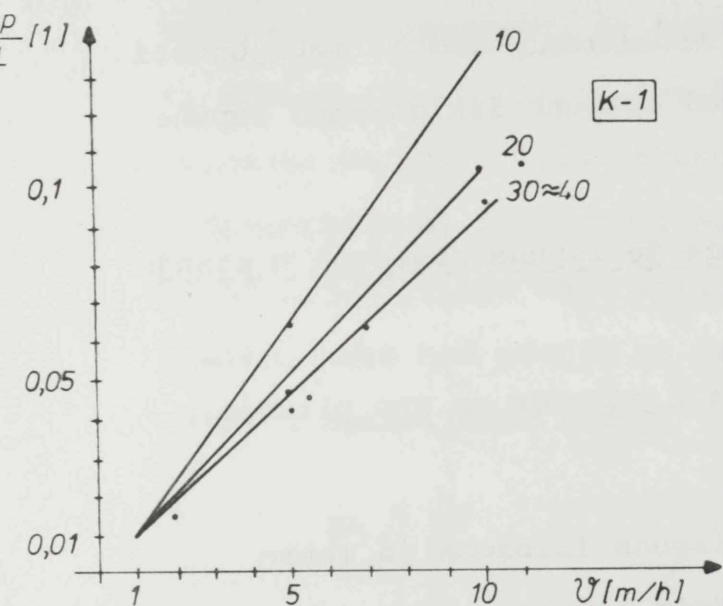
Ogledi koncipirani da daju odgovor na ovo pitanje, izvodjeni su na sledeći način:

— Nasuta, homogenizovana ispuna izložena je istim uslovima pranja. Pod jednim pranjem podrazumeva se razvlačenje ispune do obeležene marke (30% na početnu debljinu ispune) uz prosečnu brzinu pranja od 190 - 200 |m/h|. Posle deset obavljenih pranja snimljena je zavisnost $\frac{\Delta P}{L} = f(v)$. Zatim je obavljena sledeća serija od deset pranja —

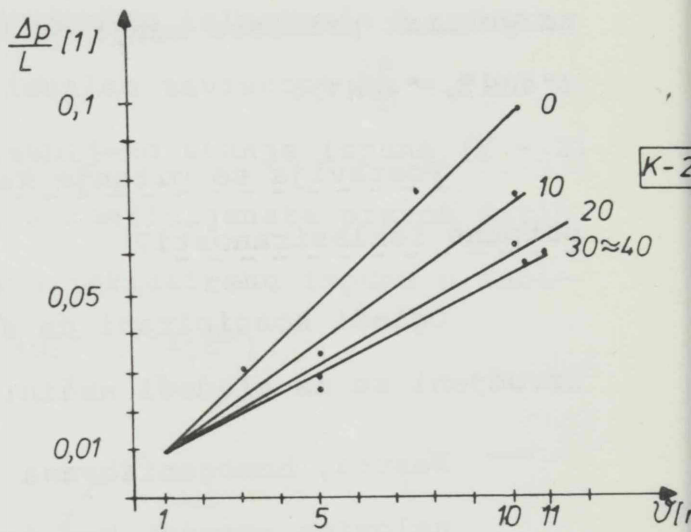
Dobijeni rezultati omogućavaju da se donese zaključak da je, kod svih razmatranih ispuna, klasiranje obavljeno posle 40 pranja. Zavisnost $\frac{\Delta P}{L} = f(v)$, za 30 i 40 pranja identična je za sve ispune, što ilustruje slika 12.2.

Može se konstatovati, da je pre puštanja u rad filtra (F - EPS/04), neophodno, obaviti 40 pranja u cilju potpunog

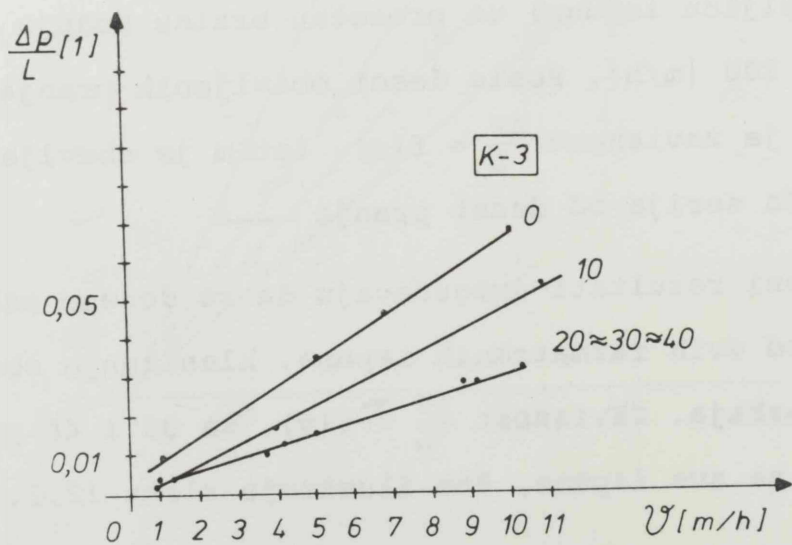
klasiranja ispune.



a



b



c

Slika 12.2. Zavisnost $\frac{\Delta P}{L} = f(v)$ za ispunje
 a) (K - 1) b) (K - 2) c) (K - 3)

12.2. FENOMENI KOJI PRATE KLASIRANJE I PRANJE EKSPANDIRANOG
POLISTIRENA

Prilikom klasiranja i pranja uočene su promene i zakonitosti kod sledećih veličina:

- debljina sloja ispune bez sabijanja, L_1
- debljina sloja ispune posle sabijanja, L_2
- promena debljine sloja sabijanjem, $\Delta L = L_1 - L_2$

U ogledima klasiranja i pranja merene su sledeće veličine:

- prirast debljine sloja, $\Delta L_1 (L_{1_{n+1}} - L_{1_n})$
- prirast debljine sloja, $\Delta L_2 (L_{2_{n+1}} - L_{2_n})$
- promena debljine sloja sabijanjem, $\Delta L (L_{1_n} - L_{2_n})$

Merenja su izvedena u funkciji broja pranja, u dva segmenta:

- (0 - 10) pranja, sa korakom od jednog pranja
- (0 - 40) pranja, sa korakom od deset pranja

Na osnovu eksperimenta može se konstatovati, nezavisno za gransastav i gustinu ispune, već posle 3 - 4 pranja da dolazi do formiranja sloja čestica po veličini, polazeći od homogenizovanog stanja.

U ogledima u kojima je najkrupnija frakcija ubacivana

na dno filtra, takodje, se posle 3 - 4 pranja krupna frakcija pojavila kao formiran sloj na vrhu ispune. Rezultati istraživanja dati su u tabeli 12.2.

TABELA 12.2. PRIKAZ REZULTATA PROMENA ΔL_1 , ΔL_2 , ΔL ,
ZA NEKE ISPUNE

Oznaka ispune	ρ	d_E	0 - 10			10 - 20			20 - 30			30 - 40		
			ΔL_1	ΔL_2	ΔL	ΔL_1	ΔL_2	ΔL	ΔL_1	ΔL_2	ΔL	ΔL_1	ΔL_2	ΔL
K - 1	37	1,34	4,1	1,8	3,7	0,5	0	4,2	0,3	0	4,5	0,1	0	4,6
K - 2	31	1,77	6,5	3,7	4,8	2,4	2,5	4,7	0,8	0,7	4,8	0,3	0,5	4,6
K - 3	25	2,15	1,2	0,3	4,4	0,3	0,4	4,3	0,5	0,2	4,6	0	0,6	4,0
K - 5	173	1,77	5,8	3,5	8,3	0,6	0,5	8,4	0,1	0,2	8,3	0	0	8,3
K - 6	124	1,71	6,0	4,8	8,2	0	1,2	7,0	0	0	7,0	0	0	7,3

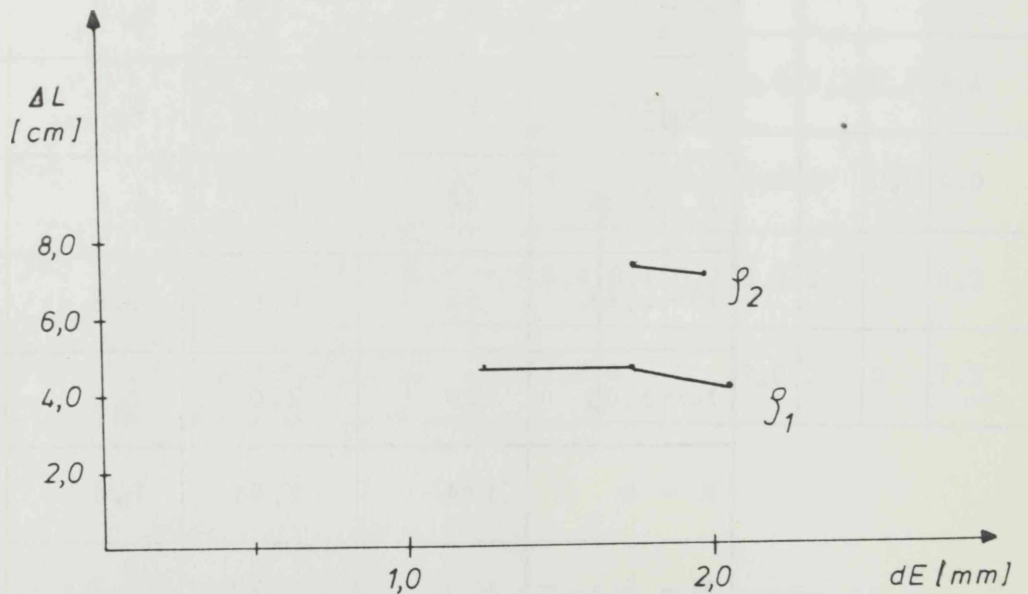
U tabeli 12.3. date su vrednosti ΔL posle 40 pranja (potpuno isklasirana ispuna), za neke ispune različitog ρ EPS i d_E .

TABELA 12.3. VREDNOSTI ΔL POSLE 40 PRANJA

Oznaka ispune	ρ	d_E	ΔL	K_N
K - 3	25	2,15	4,0	1,35
K - 2	31	1,77	4,6	1,57
K - 1	37	1,34	4,6	1,75
K - 7	45	2,01	6,0	1,35
$E_{KN}^{3,68}$	55	1,62	3,5	3,68
$E_{KN}^{2,32}$	64	1,71	5,0	2,32
MD-1,6L	65	1,6	6,8	1,0
MD-2,0T	119	2,0	7,0	1,0
K - 6	124	1,71	7,4	2,32
K - 5	173	1,77	8,3	1,6

Ako se analizira uticaj d_E na vrednost ΔL (ΔL_1 i ΔL_2 su male i brzo teže nuli), za iste vrednosti ρ EPS, može se doći do konstatacije da d_E nije od bitnog uticaja na ΔL .

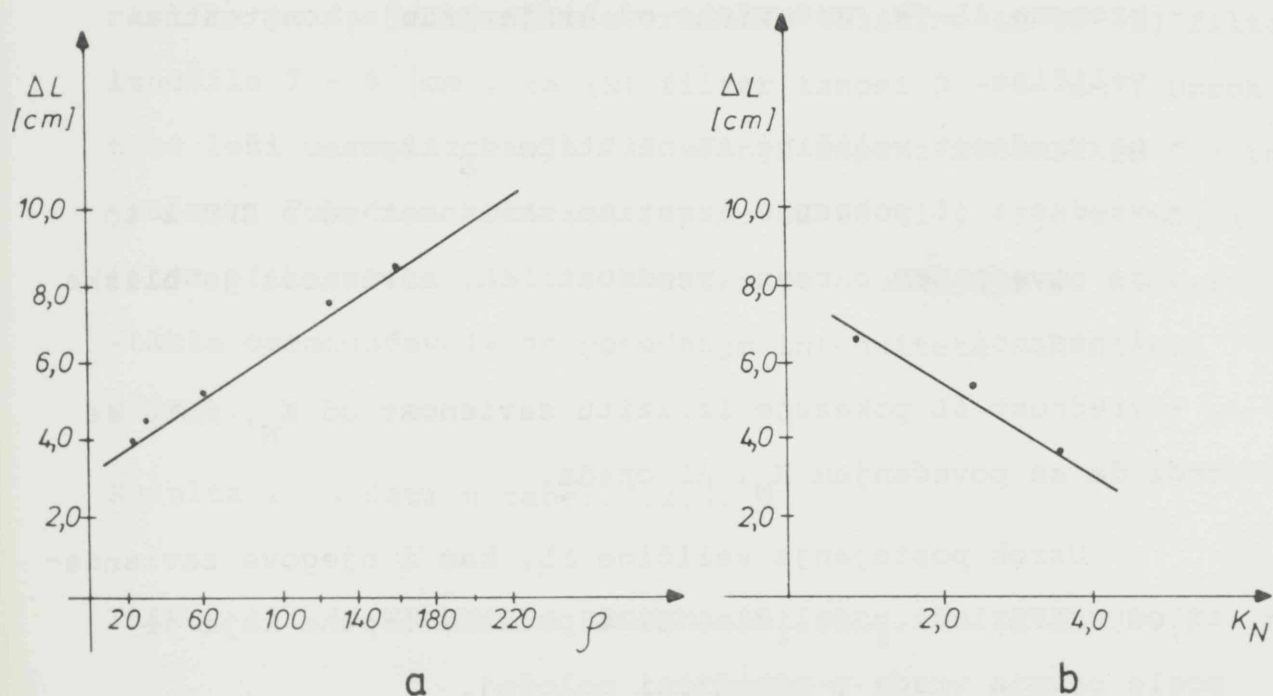
U slučajevima kada je K_N veliko, nevezano za gustinu, ΔL je manje od očekivanog, što se može objasniti mogućnošću efikasnog pakovanja susednih frakcija. Uticaj d_E na ΔL prikazan je na slici 12.3.



Slika 12.3. Uticaj d_E na vrednost ΔL za $\rho = \text{const.}$, $K_N = \text{const.}$
 $\rho_1 = 30$, $\rho_2 = 120$

Ako se podje od odsustva zavisnosti ΔL od d_E , tada se svi raspoloživi podaci mogu analizirati u funkciji ρ EPS.

Uticaj ρ na vrednosti ΔL prikazani su na slici 12.4., kao i uticaj K_N .



lika 12.4. a) uticaj ρ na vrednost ΔL , $d_E = \text{const.}$, $K_N = \text{const.}$
b) uticaj K_N na vrednost ΔL , $d_E = \text{const.}$, $\rho = \text{const.}$

Na osnovu dobivenih rezultata mogu se izvesti sledeće konstatacije:

- promene ΔL , ΔL_1 , ΔL_2 najveće su posle prvih deset pranja, klasiranje u tom periodu je najintenzivnije
- ispuna je posle 30 - 40 pranja potpuno isklasirana, dok su promene tokom pranja, ΔL_1 i ΔL_2 beznačajne
- promena ΔL je, nezavisno od broja pranja, konstantna veličina
- na vrednost veličine ΔL ne utiče d_E ispune
- vrednost ΔL pokazuje izrazitu zavisnost od ρ EPS i to sa povećanjem ρ raste vrednost ΔL , zavisnost je bliska linearnoj
- vrednost ΔL pokazuje izrazitu zavisnost od K_N , može se reći da sa povećanjem K_N , ΔL opada.

Uzrok postojanja veličine ΔL , kao i njegove zavisnosti od ρ EPS leži u veličini sile potiska ispune koja je posle pranja vraća u određeni položaj.

12.3. UTICAJ ZIDA UREDJAJA NA FENOMENE KOJI PRATE
 KLASIRANJE I PRANJE
 EKSPANDIRANOG POLISTIRENA

Uočene promene pri klasiranju i pranju EPS potvrđene su i na filtru (M). Ono što se može podvući kao uočljiva razlika je da je apsolutna vrednost veličine ΔL za (E) filter iznosila 7 - 8 |cm|, za (M) filter iznosi 3 - 4 |cm|. Uzrok tome leži u realizovanju "S" stanja ispunje mehaničkim udarima (ručno). Povećana količina ispunje od 50 |l|, nije se mogla istom efikasnosti sabiti (konstrukcija uređaja od pleksistakla onemogućavala je povećanje intenziteta mehaničkih udara).

Rezultati su dati u tabeli 12.4.

TABELA 12. 4. VREDNOSTI PROMENA ΔL_1 , ΔL_2 , ΔL ZA ISPUNU(K - 6)

Oznaka uređaja	0 - 10			10 - 20			20 - 30			30 - 40		
	ΔL_1	ΔL_2	ΔL	ΔL_1	ΔL_2	ΔL	ΔL_1	ΔL_2	ΔL	ΔL_1	ΔL_2	ΔL
E	6,0	4,8	8,2	0	1,2	7,0	0	0	7,0	0	0	7,3
M	5,0	6,3	3,7	0,2	1,2	3,7	0,3	0	4,0	0,7	0,9	3,8

13.0. H I D R O D I N A M I K A S T R U J A N J A K R O Z S L O J E K S P A N D I R A N O G P O L I S T I R E N A

U istraživanjima radjenim u cilju utvrđivanja osobitosti Hidrodinamike strujanja kroz sloj EPS došlo se do značajnih zapažanja i zaključaka za praksu.

Ono što je karakteristično za EPS, nevezano za gransastav i gustinu, je da je režim strujanja u domenu važenja Darsijevog zakona, tj. da postoji linearna zavisnost $\frac{\Delta P}{L} = f(v)$. Bitna je i činjenica za gravitacionu filtraciju da se iz ove oblasti i ne može izaći. Povećanjem brzine strujanja do kritične (uslovljeno gransastavom i gustinom) dolazi do razvlačenja sloja, sloj prelazi u fluidizovano stanje.

13.1. H I D R O D I N A M I Č K E V E L I Č I N E

Hidrodinamičke veličine polidisperznih i monodisperznih ispuna u "S" i "N" stanju date su u nizu narednih tabela.

Iz prikazanih eksperimentalnih rezultata analizirani su fenomeni uticaja stepena sabijenosti ispune, gustine EPS, ekvivalentnog prečnika d_E ispune, koeficijenta uniformnosti

K_N , i informativno, uticaj oblika zrna EPS na hidrodinamičke veličine.

Za hidrodinamičke veličine koje opisuju strujanje kroz sloj EPS odabrane su:

- zavisnost $\frac{\Delta P}{L} = f(v)$
- vrednost koeficijenta pravca prave $\frac{\Delta P}{L} = A v$
- koeficijent filtracije, K_F , |m/s|
- permeabilnost, K_P |m²|
- Carman - Kozeny konstanta, K_{KK} , |1|
- koeficijent hidrauličkog otpora, fe_E |1|

Rezultati su prikazani u nizu tabela 13.1. - 13.26.

TABELA 1. HIDRODINAMIČKE VELIČINE ZA ISPUNU (K-1)"S"

$\frac{\Delta P}{L} = 40,00v$ $k = 0,997$		OZNAKA ISPUNE K - 1 "S"							$\rho = 37$	
$v 10^{-3} $	$\frac{\Delta P}{L}$	ρ'	μ	d_E	ϵ_S	K_F	K_P	K_{KK}	Re_E	fe_E
0,532	0,014	1031,33	0,00145	0,00134	0,43	$2,50 \cdot 10^{-2}$	$3,58 \cdot 10^{-9}$	3,28	0,58	45,10
1,203	0,041								1,31	19,94
1,574	0,052								1,72	15,23
1,8	0,006								2,02	12,95
1,944	0,071								2,12	12,34
2,037	0,073								2,23	11,77
3,532	0,141								3,86	6,79
4,537	0,175								4,96	5,28

TABELA 2. HIDRODINAMIČKE VELIČINE ZA ISPUNU (K-1)"N"

$\frac{\Delta P}{L} = 36,34v$ $k = 0,981$		OZNAKA ISPUNE K - 1 "N"							$\rho = 37$	
$v 10^{-3} $	$\frac{\Delta P}{L}$	ρ'	μ	d_E	ϵ_N	K_F	K_P	K_{KK}	Re_E	fe_E
1,4814	0,039	964,25	0,001321	0,00134	0,45	$2,75 \cdot 10^{-2}$	$3,84 \cdot 10^{-9}$	4,01	1,72	18,64
3,055	0,057								3,55	9,04
3,611	0,102								4,19	7,65
4,537	0,143								5,27	6,09
5,926	0,185								6,88	4,66
6,574	0,214								7,63	4,20

TABELA 3. HIDRODINAMIČKE VELIČINE ZA ISPUNU (E-K-1T)"N"

$\frac{\Delta P}{L} = 45,07v$ $k = 0,993$		OZNAKA ISPUNE E - K - 1 "N"							$\rho = 210$	
$v 10^{-3} $	$\frac{\Delta P}{L}$	ρ'	μ	d_E	ϵ_N	K_F	K_P	K_{KK}	Re_E	fe_E
0,828	0,029	1031,33	0,00145	0,00134	0,43	$2,22 \cdot 10^{-2}$	$3,18 \cdot 10^{-9}$	3,69	0,90	32,82
1,288	0,048								1,40	21,09
1,656	0,070								1,80	16,4
1,840	0,073								2,00	14,76
3,082	0,130								3,35	8,82
4,692	0,205								5,10	5,70
5,428	0,245								5,90	5,00
5,980	0,260								6,50	4,54
6,900	0,291								7,50	3,38
7,176	0,300								7,80	3,79

TABELA 4. HIDRODINAMIČKE VELIČINE ZA ISPUNU (MD-1,0)"N"

$\frac{\Delta P}{L} = 60,22v$ $k = 0,914$		OZNAKA ISPUNE MD - 1 "N"							$\rho = 223,35$	
$v 10^{-3} $	$\frac{\Delta P}{L}$	ρ'	μ	d_E	ϵ_N	K_F	K_P	K_{KK}	Re_E	fe_E
1,000	0,041	964,25	0,001321	0,0010	0,37	$1,66 \cdot 10^{-2}$	$2,32 \cdot 10^{-9}$	1,59	0,76	16,69
1,390	0,166								1,06	12,00
2,300	0,180								1,75	7,26
3,330	0,280								2,54	5,01
3,500	0,286								2,67	4,77
4,200	0,380								3,20	3,97
6,400	0,40								4,88	2,61
7,400	0,412								5,64	2,25

TABELA 5. HIDRODINAMIČKE VELIČINE ZA ISPUNU (K - 2)"S"

$\frac{\Delta P}{L} = 27,15v$ $k = 0,986$		OZNAKA ISPUNE K - 2 "S"							$\rho = 30,$	
$v 10^{-3}$	$\frac{\Delta P}{L}$	ρ'	μ	d_E	ϵ_S	K_F	K_P	K_{KK}	Re_E	fe_E
0,702	0,018	1031,33	0,00145	0,00177	0,41	$3,68 \cdot 10^{-2}$	$5,28 \cdot 10^{-9}$	3,08	0,97	25,41
1,144	0,034								1,58	15,58
1,758	0,046								2,43	10,14
2,686	0,058								3,71	6,64
2,92	0,077								4,02	6,11
3,52	0,091								4,86	5,06
4,58	0,129								6,33	3,89

TABELA 6. HIDRODINAMIČKE VELIČINE ZA ISPUNU (K - 2)"N"

$\frac{\Delta P}{L} = 22,56v$ $k = 0,998$		OZNAKA ISPUNE K - 2 "N"							$\rho = 30,$	
$v 10^{-3}$	$\frac{\Delta P}{L}$	ρ'	μ	d_E	ϵ_N	K_F	K_P	K_{KK}	Re_E	fe_E
1,065	0,021	964,25	0,001321	0,00177	0,43	$4,43 \cdot 10^{-2}$	$6,18 \cdot 10^{-9}$	3,58	1,58	17,95
1,736	0,035								2,57	11,02
2,222	0,045								3,29	8,61
2,963	0,065								4,39	6,45
4,305	0,101								6,37	4,44
5,555	0,12								8,22	3,44
6,055	0,136								8,96	3,16
7,592	0,166								11,24	2,52

TABELA 7. HIDRODINAMIČKE VELIČINE ZA ISPUNU (K - 5)"S"

$\frac{\Delta P}{L} = 33,15v$ $k = 0,986$		OZNAKA ISPUNE K - 5 "S"							$\rho = 173$	
$v 10^{-3} $	$\frac{\Delta P}{L}$	ρ'	μ	d_E	ϵ_S	K_F	K_P	K_{KK}	Re_E	fe_E
0,259	0,010	1031,33	0,00145	0,00177	0,46	$3,02 \cdot 10^{-2}$	$4,32 \cdot 10^{-9}$	6,04	0,39	124,48
0,787	0,025								1,18	41,00
1,62	0,054								2,43	19,91
2,22	0,069								3,32	14,53
2,8	0,090								4,19	11,52
2,884	0,074								4,32	11,18
2,963	0,101								4,44	10,88
3,217	0,108								4,82	10,03
4,19	0,147								6,27	7,70

TABELA 8. HIDRODINAMIČKE VELIČINE ZA ISPUNU (K - 5)"N"

$\frac{\Delta P}{L} = 23,84v$ $k = 0,998$		OZNAKA ISPUNE K - 5 "N"							$\rho = 173$	
$v 10^{-3} $	$\frac{\Delta P}{L}$	ρ'	μ	d_E	ϵ_N	K_F	K_P	K_{KK}	Re_E	fe_E
1,528	0,031	964,25	0,001321	0,00177	0,50	$4,20 \cdot 10^{-2}$	$5,86 \cdot 10^{-9}$	7,45	2,55	23,38
2,940	0,059								4,91	12,15
4,358	0,095								7,26	8,21
4,870	0,105								8,13	7,33
6,157	0,136								10,28	5,80
6,759	0,157								11,28	5,28

TABELA 9. HIDRODINAMIČKE VELIČINE ZA ISPUNU (K - 6)"S"

$\frac{\Delta P}{L} = 25,75v$ $k = 0,991$		OZNAKA ISPUNE K - 6 "S"							$\rho = 124$	
$v 10^{-3} $	$\frac{\Delta P}{L}$	ρ'	μ	d_E	ϵ_s	K_F	K_P	K_{KK}	Re_E	fe_F
0,3009	0,008	1031,33	0,00145	0,001711	0,44	$3,88 \cdot 10^{-2}$	$5,56 \cdot 10^{-9}$	3,78	0,43	71,14
0,5092	0,010								1,72	42,03
0,7407	0,016								1,05	28,92
1,5509	0,035								2,20	13,81
1,8287	0,042								2,59	11,71
2,0833	0,048								2,95	10,28
2,8703	0,063								4,06	7,45
3,6111	0,085								5,11	5,93
4,3518	0,120								6,16	4,92

TABELA 10. HIDRODINAMIČKE VELIČINE ZA ISPUNU (K - 6)"N"

$\frac{\Delta P}{L} = 11,44v$ $k = 0,982$		OZNAKA ISPUNE K - 6 "N"							$\rho = 124$	
$v 10^{-3} $	$\frac{\Delta P}{L}$	ρ'	μ	d_E	ϵ_N	K_F	K_P	K_{KK}	Re_E	fe_E
0,616	0,008	1031,33	0,00145	0,001711	0,48	$8,74 \cdot 10^{-2}$	$12,50 \cdot 10^{-9}$	2,47	0,93	21,16
0,92	0,011								1,39	14,18
2,3	0,020								3,48	5,67
2,76	0,024								4,17	4,72
3,17	0,025								4,80	4,11
3,36	0,035								5,08	3,88
5,06	0,064								7,65	2,58
7,78	0,087								11,77	1,68

TABELA 11. HIDRODINAMIČKE VELIČINE ZA ISPUNU ($E_{KN} = 2,32$) "S"

$\frac{\Delta P}{L} = 22,84v$ $k = 0,922$		OZNAKA ISPUNE $E-K_N=2,32$ "S"							$\rho = 64$	
$v 10^{-3} $	$\frac{\Delta P}{L}$	ρ'	μ	d_E	ϵ_S	K_F	K_P	K_{KK}	Re_E	fe_E
0,370	0,015	1031,33	0,00145	0,00171	0,36	$4,38 \cdot 10^{-2}$	$6,28 \cdot 10^{-9}$	1,41	0,46	24,53
0,519	0,018								0,65	17,36
0,694	0,020								0,87	12,97
0,740	0,025								0,93	12,14

TABELA 12. HIDRODINAMIČKE VELIČINE ZA ISPUNU ($E_{KN} = 2,32$) "N"

$\frac{\Delta P}{L} = 17,92v$ $k = 0,389$		OZNAKA ISPUNE $E-K_N=2,32$ "N"							$\rho = 64$	
$v 10^{-3} $	$\frac{\Delta P}{L}$	ρ'	μ	d_E	ϵ_N	K_F	K_P	K_{KK}	Re_E	fe_E
0,230	0,006	1031,33	0,00145	0,00171	0,39	$5,58 \cdot 10^{-2}$	$8,00 \cdot 10^{-9}$	1,55	0,30	41,36
1,610	0,023								2,09	5,91
2,680	0,040								3,48	3,55
3,588	0,057								4,66	2,65
4,232	0,076								5,50	2,25
4,692	0,085								6,09	2,03

TABELA 13. HIDRODINAMIČKE VELIČINE ZA ISPUNU ($E_{KN} = 3,68$) "S"

$\frac{\Delta P}{L} = 31,38v$ $k = 0,998$		OZNAKA ISPUNE $E_{KN} = 3,68$ "S"							$\rho = 55$	
$v \cdot 10^{-3}$	$\frac{\Delta P}{L}$	ρ'	μ	d_E	ϵ_S	K_F	K_p	K_{KK}	Re_E	f_{eE}
0,83	0,021	1031,33	0,00145	0,00171	0,47	$3,19 \cdot 10^{-2}$	$4,57 \cdot 10^{-9}$	5,47	1,16	37,71
1,57	0,042								2,19	19,97
2,08	0,063								2,90	15,08
3,20	0,094								4,46	9,81

TABELA 14. HIDRODINAMIČKE VELIČINE ZA ISPUNU ($E_{KN} = 3,68$) "N"

$\frac{\Delta P}{L} = 24,33v$ $k = 0,984$		OZNAKA ISPUNE $E_{KN} = 3,68$ "N"							$\rho = 55$	
$v \cdot 10^{-3}$	$\frac{\Delta P}{L}$	ρ'	μ	d_E	ϵ_N	K_F	K_p	K_{KK}	Re_E	f_{eE}
0,851	0,021	1031,33	0,00145	0,00171	0,49	$4,11 \cdot 10^{-2}$	$5,89 \cdot 10^{-9}$	5,42	1,253	34,60
1,012	0,027								1,491	29,08
1,61	0,030								2,37	18,30
3,40	0,102								5,01	8,65
4,37	0,109								6,44	8,00
5,88	0,157								8,66	5,00
7,08	0,178								10,43	4,16

TABELA 15. HIDRODINAMIČKE VELIČINE ZA ISPUNU (E - R) "N"

$\frac{\Delta P}{L} = 25,54v$ $k = 0,974$		OZNAKA ISPUNE E - R "N"							$\rho = 168$	
$v 10^{-3} $	$\frac{\Delta P}{L}$	ρ'	μ	d_E	ϵ_N	K_F	K_P	K_{KK}	Re_E	fe_E
,833	0,015	964,25	0,001321	0,00162	0,50	$3,92 \cdot 10^{-2}$	$5,47 \cdot 10^{-9}$	6,76	1,28	42,29
1,273	0,040								1,95	27,67
1,713	0,045								2,63	20,84
2,546	0,060								3,908	14,02
3,657	0,099								5,61	9,76
4,167	0,135								6,40	8,57
5,000	0,135								7,68	7,14
5,880	0,155								9,03	6,07
6,944	0,195								10,65	5,14
7,361	0,165								11,30	4,85

TABELA 16. HIDRODINAMIČKE VELIČINE ZA ISPUNU (MD - 1,6L) "N"

$\frac{\Delta P}{L} = 42,95v$ $k = 0,970$		OZNAKA ISPUNE MD-1,6L "N"							$\rho = 65$	
$v 10^{-3} $	$\frac{\Delta P}{L}$	ρ'	μ	d_E	ϵ_N	K_F	K_P	K_{KK}	Re_E	fe_E
0,2	0,001	1031,33	0,00145	0,00160	0,46	$2,33 \cdot 10^{-2}$	$3,34 \cdot 10^{-9}$	7,05	0,28	204,492
1,84	0,041								2,54	22,21
2,99	0,102								4,13	13,67
3,45	0,124								4,76	11,84
3,82	0,140								5,28	10,70
7,36	0,326								10,16	5,55

TABELA 17. HIDRODINAMIČKE VELIČINE ZA ISPUNU (MD-1,6T) "S"

$\frac{\Delta P}{L} = 51,57v$ $k = 0,997$		OZNAKA ISPUNE MD-1,6T "S"							$\rho = 190$	
$v 10^{-3} $	$\frac{\Delta P}{L}$	ρ'	μ	d_E	ϵ_s	K_F	K_P	K_{KK}	Re_E	f_{eE}
1,065	0,037	1031,33	0,00145	0,0016	0,39	$1,94 \cdot 10^{-2}$	$2,78 \cdot 10^{-9}$	3,91	1,30	24,06
1,389	0,042								1,69	18,51
2,920	0,105								3,55	8,81
3,194	0,127								3,89	8,04
4,720	0,212								5,74	5,45
6,300	0,296								7,67	4,08
7,030	0,323								8,56	3,65
7,960	0,390								9,69	3,23

TABELA 18. HIDRODINAMIČKE VELIČINE ZA ISPUNU (MD-1,6T) "N"

$\frac{\Delta P}{L} = 45,42v$ $k = 0,997$		OZNAKA ISPUNE MD-1,6T "N"							$\rho = 190$	
$v 10^{-3} $	$\frac{\Delta P}{L}$	ρ'	μ	d_E	ϵ_N	K_F	K_P	K_{KK}	Re_E	f_{eE}
0,506	0,023	1031,33	0,00145	0,0016	0,42	$2,20 \cdot 10^{-2}$	$3,16 \cdot 10^{-9}$	4,84	0,65	59,71
1,104	0,035								1,42	27,36
1,518	0,045								1,95	19,89
1,702	0,060								2,18	17,74
3,036	0,113								3,90	9,95
4,968	0,194								6,37	6,08
5,52	0,235								7,08	5,47
6,256	0,260								8,03	4,83
6,532	0,290								8,38	4,62
7,36	0,325								9,44	4,10

TABELA 19. HIDRODINAMIČKE VELIČINE ZA ISPUNU (K - 3)"S"

$\frac{\Delta P}{L} = 14,69v$ $k = 0,975$		OZNAKA ISPUNE K - 3 "S"							$\rho = 37$	
$v 10^{-3}$	$\frac{\Delta P}{L}$	ρ'	μ	d_E	ϵ_s	K_F	K_P	K_{KK}	Re_E	fe_E
0,36	0,007	1031,33	0,00145	0,002154	0,36	$6,80 \cdot 10^{-2}$	$9,74 \cdot 10^{-9}$	1,42	0,56	20,23
1,0278	0,013								1,60	7,09
1,1389	0,014								1,77	6,40
1,444	0,025								2,24	5,05
2,44	0,034								3,79	2,99
2,86	0,034								4,45	2,55
3,7	0,060								5,75	1,97

TABELA 20. HIDRODINAMIČKE VELIČINE ZA ISPUNU (K - 3)"N"

$\frac{\Delta P}{L} = 14,73v$ $k = 0,985$		OZNAKA ISPUNE K - 3 "N"							$\rho = 37$	
$v 10^{-3}$	$\frac{\Delta P}{L}$	ρ'	μ	d_E	ϵ_N	K_F	K_P	K_{KK}	Re_E	fe_E
0,874	0,010	1031,33	0,00145	0,00205	0,39	$6,79 \cdot 10^{-2}$	$9,73 \cdot 10^{-9}$	1,99	1,42	11,21
1,426	0,020								2,32	6,86
1,84	0,013								2,99	5,32
2,438	0,02								3,96	4,02
3,036	0,035								4,93	3,23
3,818	0,043								6,20	2,57
5,106	0,065								8,29	1,92
6,624	0,08								10,75	1,48
7,452	0,096								12,10	1,31
8,556	0,130								13,85	1,18

TABELA 21. HIDRODINAMIČKE VELIČINE ZA ISPUNU (K - 4)"N"

$\frac{\Delta P}{L} = 21,67v$ $k = 0,872$		OZNAKA ISPUNE K - 4 "N"							$\rho = 90$	
$v 10^{-3} $	$\frac{\Delta P}{L}$	ρ'	μ	d_E	ϵ_N	K_F	K_P	K_{KK}	Re_E	f_{eE}
1,978	0,006	1031,33	0,00145	0,00202	0,47	$4,61 \cdot 10^{-2}$	$6,61 \cdot 10^{-9}$	6,20	3,491	14,208
2,530	0,040								4,465	11,109
3,864	0,024								6,820	7,273
4,696	0,090								8,288	5,984
5,880	0,094								10,378	4,779

TABELA 22. HIDRODINAMIČKE VELIČINE ZA ISPUNU (MD - 2,0T)"N"

$\frac{\Delta P}{L} = 21,79v$ $k = 0,984$		OZNAKA ISPUNE MD-2,0T "N"							$\rho = 119$	
$v 10^{-3} $	$\frac{\Delta P}{L}$	ρ'	μ	d_E	ϵ_N	K_F	K_P	K_{KK}	Re_E	f_{eE}
1,242	0,021	1031,33	0,00145	0,0020	0,42	$4,59 \cdot 10^{-2}$	$6,58 \cdot 10^{-9}$	3,40	1,96	13,86
2,392	0,040								3,78	7,20
4,163	0,071								6,58	4,14
5,428	0,104								8,58	3,17
5,612	0,122								8,88	3,07

TABELA 22a. HIDRODINAMIČKE VELIČINE ZA ISPUNU (MD - 2,0L)"N"

$\frac{\Delta P}{L} = 21,61v$ $k = 0,992$		OZNAKA ISPUNE MD - 2,0L"N"							$\rho = 30$	
$v \cdot 10^{-3}$	$\frac{\Delta P}{L}$	ρ'	μ	d_E	ϵ_N	K_F	K_P	K_K	Re_E	fe_F
0,93	0,007	1031,33	0,00145	0,0020	0,36	$4,63 \cdot 10^{-2}$	$6,63 \cdot 10^{-9}$	10,18	1,34	60,78
1,16	0,016								1,68	48,77
2,30	0,031								3,32	24,68
3,65	0,055								5,27	15,55
5,10	0,090								7,36	11,13
5,60	0,115								8,09	10,12

TABELA 23. HIDRODINAMIČKE VELIČINE ZA ISPUNU (K - 7)"N"

$\frac{\Delta P}{L} = 17,40v$ $k = 0,996$		OZNAKA ISPUNE K - 7 "N"							$\rho = 45$	
$v 10^{-3}$	$\frac{\Delta P}{L}$	ρ'	μ	d_E	ϵ_N	K_F	K_P	K_{KK}	Re_E	f_{eE}
0,920	0,010	1031,33	0,00145	0,00201	0,48	$5,75 \cdot 10^{-2}$	$8,24 \cdot 10^{-9}$	5,13	1,63	25,21
1,702	0,020								3,01	13,62
1,84	0,020								3,25	12,60
2,76	0,036								4,88	8,40
3,22	0,037								5,70	7,20
3,588	0,050								6,35	6,46
5,520	0,080								9,77	4,20
6,716	0,110								11,88	3,45
9,200	0,150								16,28	2,52

TABELA 24. HIDRODINAMIČKE VELIČINE ZA ISPUNU (E - VS)"N"

$\frac{\Delta P}{L} = 14,43v$ $k = 0,997$		OZNAKA ISPUNE E - VS "N"							$\rho = 120$	
$v 10^{-3}$	$\frac{\Delta P}{L}$	ρ'	μ	d_E	ϵ_N	K_F	K_P	K_{KK}	Re_E	f_{eE}
0,460	0,006	1031,33	0,00145	0,00225	0,35	$6,93 \cdot 10^{-2}$	$9,94 \cdot 10^{-9}$	1,51	0,75	16,21
1,748	0,024								2,83	4,27
2,530	0,031								4,10	2,95
3,496	0,045								5,67	2,13
3,864	0,050								6,26	1,93
4,416	0,064								7,16	1,69
5,612	0,078								9,10	1,33
6,992	0,102								11,33	1,07

TABELA 25. HIDRODINAMIČKE VELIČINE ZA ISPUNU (E - 0)"N"

$\frac{\Delta P}{L} = 90,09v$ $k = 0,988$		OZNAKA ISPUNE E - 0 "N"							$\rho = 247$	
$v 10^{-3} $	$\frac{\Delta P}{L}$	ρ'	μ	d_E	ϵ_N	K_F	K_P	K_{KK}	Re_E	fe_E
0,718	0,082	964,25	0,001321	0,00072	0,45	$1,11 \cdot 10^{-2}$	$1,55 \cdot 10^{-9}$	2,90	0,45	51,56
1,134	0,135								0,71	32,63
1,690	0,189								1,06	21,91
2,222	0,245								1,14	20,35
2,639	0,285								1,65	14,03
3,472	0,325								2,18	10,66

TABELA 26. HIDRODINAMIČKE VELIČINE ZA ISPUNU (P - F)

$\frac{\Delta P}{L} = 305,73v$ $k = 0,997$		OZNAKA ISPUNE P-F (PESAK U FILTRU)							$\rho = 2630$	
$v 10^{-3} $	$\frac{\Delta P}{L}$	ρ'	μ	d_E	ϵ	K_F	K_P	K_{KK}	Re_E	fe_E
0,580	0,185	964,25	0,001321	0,00075	0,45	$3,27 \cdot 10^{-3}$	$4,57 \cdot 10^{-10}$	10,77	0,38	226,74
0,810	0,225								0,53	162,57
1,020	0,320								0,67	128,60
1,340	0,375								0,88	97,91
1,850	0,580								1,21	71,21
2,000	0,590								1,31	65,77
2,500	0,770								1,64	52,54

13.2. UTICAJ SABIJENOSTI ISPUNE NA HIDRODINAMIKU STRUJANJA KROZ SLOJ EKSPANDIRANOG POLISTIRENA

Shodno ranijim razmatranjima o specifičnosti strukture sloja u "S" i "N" stanju, promeni poroznosti ($\Delta\epsilon_1$) sloja, treba očekivati da se uticaj sabijenosti odrazi i na hidrodinamiku. Realizovani rezultati to i potvrđuju.

Promene koje bi bile u skladu sa dosadašnjim analizama su:

- prilikom razvlačenja sloja povećava se poroznost, povećavaju se prečnici kapilara, smanjuje se realna brzina strujanja u kapilari za konstantnu brzinu filtracije, time se smanjuju gubici pritiska po jedinici dužine što uslovljava povećanje K_F i K_P . Smanjenjem realne brzine strujanja povećava se uticaj viskoznih sila. Povećanjem uticaja viskoznih sila povećava se koeficijent hidrauličkog otpora.

Prikaz rezultata dat je u tabeli 13.27., iz kojih se vidi potvrda navedenih razmatranja.

Gde je:

$$\Delta A = A_N - A_S$$

$$\Delta K_F = K_{FN} - K_{FS}$$

$$\Delta K_P = K_{PN} - K_{PS}$$

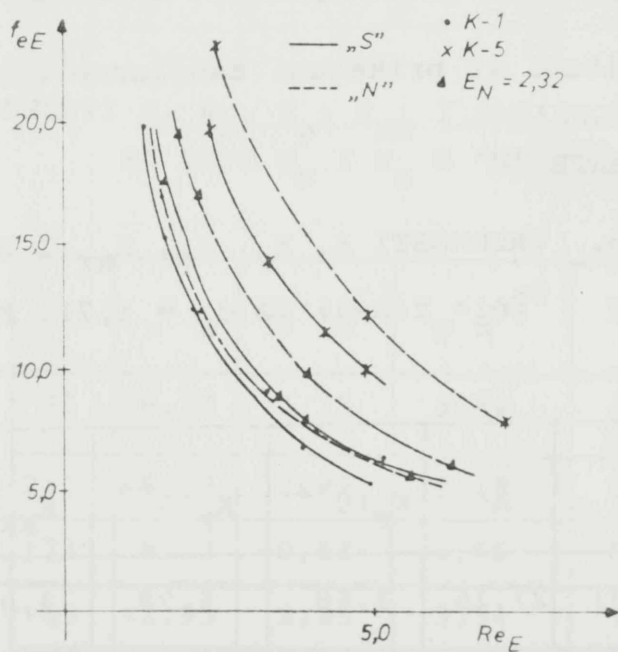
$$\Delta K_{KK} = K_{KKN} - K_{KKS}$$

TABELA 27. PRIRAST HIDRODINAMIČKIH VELIČINA U "N"
U ODNOSU NA "S" STANJE

Oznaka ispune	ρ	ΔA	$\Delta K_F 10^{-2}$	$\Delta K_P 10^{-9}$	ΔK_{KK}	$\Delta \epsilon_1$	ΔL
K - 1	37	- 3,66	0,25	0,26	0,73	0,02	4,6
K - 2	31	- 4,59	0,75	0,90	0,5	0,03	4,6
K - 3	37	0	0	0	0,57	0,03	4,0
K - 5	173	- 9,31	1,18	1,54	1,41	0,04	8,3
K - 6	124	-14,31	4,52	6,96	-1,33	0,04	7,4
$E_{KN}^{2,32}$	64	- 4,92	1,20	1,72	0,13	0,03	5,0
$E_{KN}^{3,68}$	55	- 7,05	0,92	1,32	0	0,02	3,5
MD-1,6T	190	- 6,15	0,26	0,38	0,93	0,03	-
Srednja vrednost veliĉine	-	- 6,25	1,14	1,64	0,70	0,03	5,34

Može se podvući da razvlačenjem ispune u "N" stanje

- opada koeficijent pravca, A
- raste koeficijent filtracije, K_F (prosečno za 26,8%)
- raste propustljivost sloja (prosečno za 27%)
- raste vrednost K_{KK} (prosečno za 22,1%)
- rastu vrednosti koeficijenta hidrauličkog otpora za ekvivalentne vrednosti Re_E (prikazano na slici 13.1.).



Slika 13. . Promena $f_{eE} = f(v)$ za ispune u "S" i "N" stanju,

13.3. UTICAJ GUSTINE EKSPANDIRANOG POLISTIRENA NA
HIDRODINAMIKU STRUJANJA KROZ SLOJ

Granule ekspaniranog polistirena, vezano za gustinu, imaju razlicitu površinu, što je od bitnog uticaja na hidrodinamiku.

Eksperimenti prikazani u ovom radu daju uticaj gustine, tj. hrapavosti zida kapilare, u "S" i "N" stanju ispune.

Rezultati su prikazani tabelarno u nizu tabela 13.28.-13.31.

TABELA 28. VREDNOSTI A , K_F , K_P , K_{KK} I ZAVISNOSTI
 $f_{e_E} = f(Re_E)$ ZA $d_E = 1,71$, $K_N = 1,60$

Oznaka ispune	ρ	A	$K_F \cdot 10^{-2}$	$K_P \cdot 10^{-9}$	K_{KK}	$f_{e_E} = f(Re_E)$
K - 2"S"	31	27,15	3,68	5,28	3,08	$24,64/Re_E$
K - 5"S"	173	33,15	3,02	4,32	6,04	$48,32/Re_E$
K - 2"N"	31	22,56	4,48	6,18	3,58	$28,64/Re_E$
K - 5"N"	173	23,84	4,20	5,86	7,45	$59,60/Re_E$
Δ_S	$\Delta\rho=142$	6,0	-0,66	-0,96	2,96	$23,68/Re_E$
Δ_N		1,28	-0,28	-0,32	3,87	$30,96/Re_E$

TABELA 29. VREDNOSTI A, K_F , K_P , K_{KK} I ZAVISNOSTI $f_{e_E} = f(Re_E)$ ZA $d_E = 1,71$ $K_N = 2,32$

OZNAKA ISPUNE	ρ	A	$K_F \cdot 10^{-2}$	$K_P \cdot 10^{-9}$	K_{KK}	$f_{e_E} = f(Re_E)$
$E_{KN} = 2,32$ "S"	64	22,84	4,38	6,28	1,41	$\frac{11,28}{Re_E}$
K - 6"S"	124	25,75	3,88	5,56	3,79	$\frac{30,32}{Re_E}$
$E_{KN} = 2,32$ "N"	64	17,92	5,58	8,0	1,55	$\frac{12,4}{Re_E}$
K - 6*"N"	124	11,44	8,74	12,52	2,47	$\frac{19,76}{Re_E}$
Δ_S	$\Delta\rho=60$	2,91	-0,50	-0,72	2,38	$\frac{19,04}{Re_E}$
Δ_N^*		-6,0	3,16	4,52	0,92	$\frac{7,36}{Re_E}$

TABELA 30. VREDNOSTI A, K_F , K_P , K_{KK} I ZAVISNOSTI $f_{e_E} = f(Re_E)$ ZA DATO d_E I K_N U "N" STANJU

OZNAKA ISPUNE	d_E, K_N	ρ	A	$K_F \cdot 10^{-2}$	$K_P \cdot 10^{-9}$	K_{KK}	$f_{e_E} = f(Re_E)$
K - 1	1,34	37	36,34	2,75	3,84	4,01	$\frac{32,08}{Re_E}$
EK - 1T		210	45,07	2,22	3,18	3,69	$29,52/Re_E$
Δ_N		173	8,73	-0,53	-0,66	-0,32 ^o	$-2,56/Re_E$
MD-1,6L	1,60	65	42,95	2,33	3,34	7,05	$56,4 / Re_E$
MD-1,6T		190	45,42	2,20	3,16	4,84	$38,72/Re_E$
Δ_N		125	2,47	-0,13	-0,18	-0,18 ^o	$-17,68/Re_E$
$E_{KN} = 3,68$	1,62	55	24,33	4,11	5,89	5,42	$43,36/Re_E$
E - R		168	25,54	3,92	5,46	6,76	$54,08/Re_E$
Δ_N		113	1,21	-0,19	-0,43	1,34	$10,72/Re_E$

TABELA 31. VREDNOSTI A , K_F , K_P , K_{KK} I ZAVISNOSTI $f_{e_E} = f(Re_E)$ ZA $d_E = 2,0$, $K_N = 1,5$

Oznaka ispune	ρ	A	$K_F \cdot 10^{-2}$	$K_P \cdot 10^{-9}$	K_{KK}	$f_{e_E} = f(Re_E)$
K - 3"N"	37	14,73	6,79	9,73	1,99	15,92/ Re_E
K - 7"N"	45	17,40	5,75	8,24	5,13	41,04/ Re_E
K - 4"N"	90	21,67	4,61	6,61	6,20	49,60/ Re_E
Δ_{N_1}	8	2,67	-1,04	-1,49	3,14	25,12/ Re_E
Δ_{N_2}	45	4,27	-1,14	-1,63	1,07	8,56/ Re_E

Analizom prikazanih rezultata može se ukazati na trend zavisnosti, kako u "S" tako i u "N" stanju:

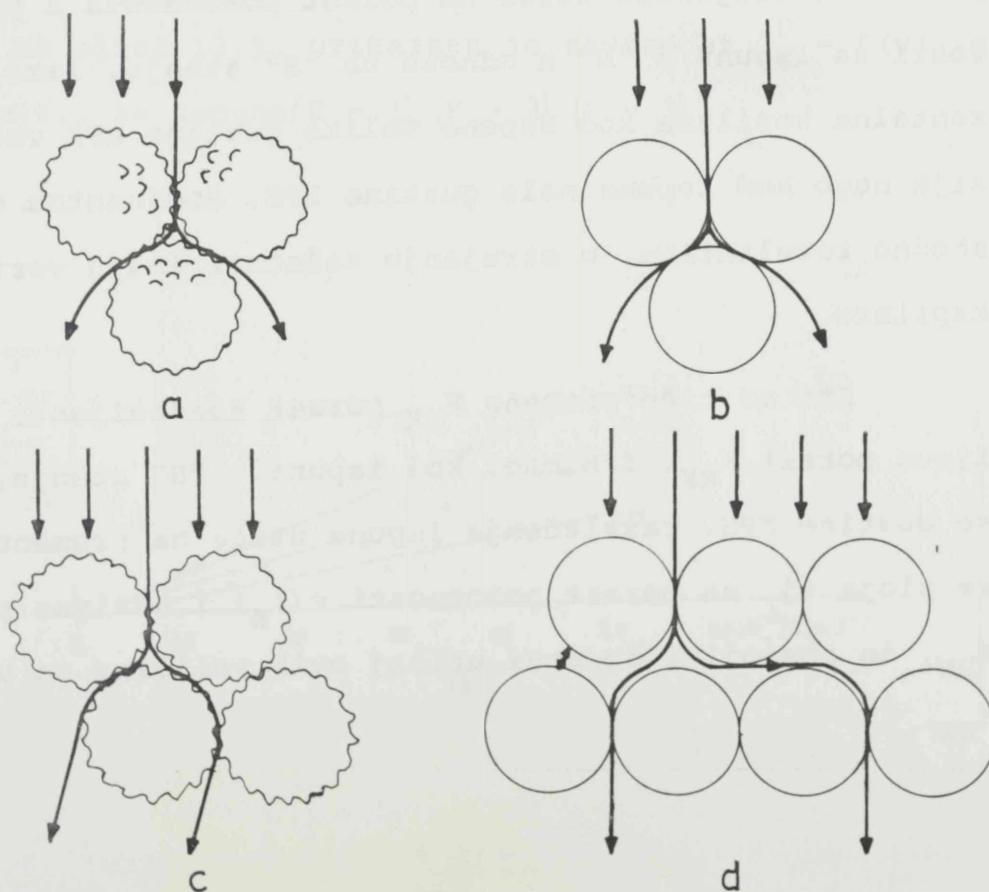
- porastom gustine EPS raste koeficijent pravca A
- opada koeficijent filtracije K_F
- opada propustljivost K_P
- Carman - Kozeny konstanta K_{KK} menja se kao rezultanta dvojnog uticaja veličina, diskutovano dalje u radu.

- koeficijent hidrauličkog otpora menja se shodno zavisnosti promene K_{KK}

Zašto porastom gustine EPS rastu gubici pritiska po jedinici debljine filtarske ispune za $v = \text{const.}$?

Ako se podvuče specifičnost strukture sloja, odnosno pora, u zavisnosti od gustine EPS, može se doći do objašnjenja datog fenomena.

Na slici 13.2. dat je šematski prikaz strukture sloja i pora u "S" i u "N" stanju ispuna male i velike gustine



Slika 13.2. Strukturna ispuna

- a) laka ispuna "S" b) teška ispuna "S"
c) laka ispuna "N" d) teška ispuna "N"

Kod ispuna u "S" stanju za male gustine EPS pore imaju hrapav, nazubljen zid, koji onemogućava prislanjanje granula jedne uz drugu (slika 13.2.a). Kod velike gustine EPS, zbog glatke površine dolazi do formiranja uskog vrata pore tj. stešnjenog prislanjanja granula jedne uz drugu, što utiče na porast gubitka pritiska pri strujanju. Porast realnih brzina strujanja za sobom nosi rast koeficijenta A, smanjenje K_F i K_P (slika 13.2.b).

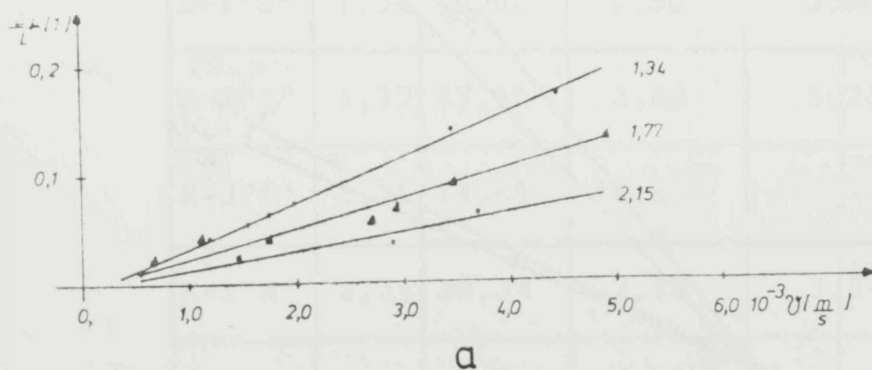
Kod ispuna u "N" stanju javlja se i treća dimenzija pore. Ova činjenica utiče na porast poroznosti i propustljivosti za ispunu u "N" u odnosu na "S" stanje. Iako su horizontalne kapilare kod ispuna velike gustine EPS većih dimenzija nego kod ispuna male gustine EPS, dominantnu ulogu, shodno rezultatima, u strujanju tečnosti imaju vertikalne kapilare.

Što se tiče promene K_{KK} porast koeficijenta A uslovljava porast K_{KK} . Iznimno, kod ispuna u "N" stanju, za velike gustine EPS, razvlačenje ispune utiče na promenu strukture sloja tj. na porast poroznosti $\epsilon(\epsilon_N)$ i aktivne površine a_{UN} , te postoji i dodatni uticaj ovih veličina na vrednost K_{KK} .

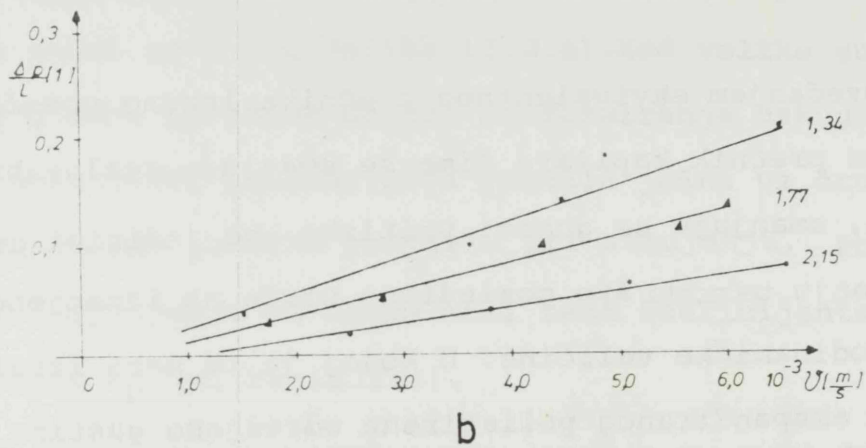
13.4. UTICAJ EKVIVALENTNOG PREČNIKA ISPUNE NA HIDRODINAMIKU STRUJANJA KROZ SLOJ EKSPANDIRANOG POLISTIRENA

Povećanjem ekvivalentnog prečnika ispune povećava se i prosečan prečnik kapilare čime se smanjuju realne brzine strujanja, smanjuju se gubici pritiska po jedinici debljine pri strujanju tečnosti što posledično utiče na izmenjene i ostale hidrodinamičke veličine. U kojoj je to meri izraženo za slučaj ekspaniranog polistirena određene gustine ilustruju rezultati dati u ovom radu.

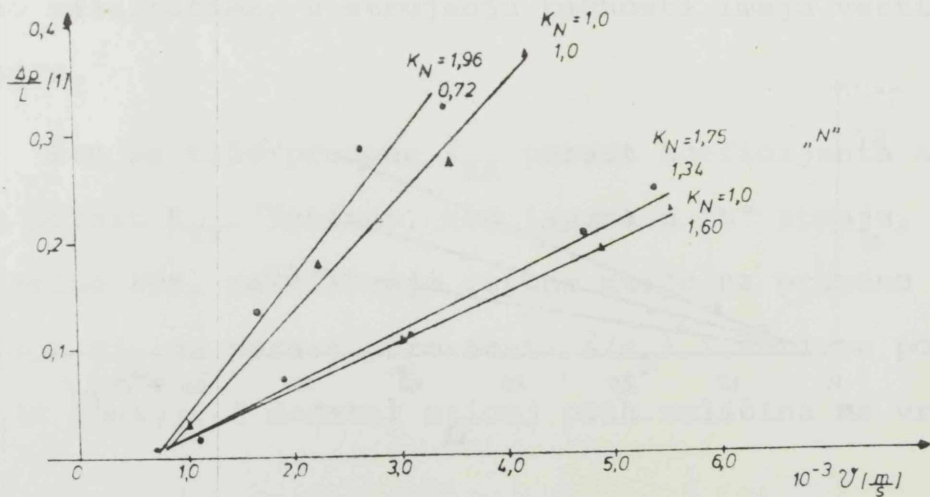
Na slici 13.3. prikazana je zavisnost $\frac{\Delta P}{L} = f(v)$, za $\rho = \text{const.}$, za ispune $(K - 1)$, $(K - 2)$, $(K - 3)$.



a)



Slika 13.3. Zavisnost $\frac{\Delta P}{L} = f(v)$, $\rho = 30 \text{ [kg/m}^3]$
 a) "S" stanje b) "N" stanje



Slika 13.4. Zavisnost $\frac{\Delta P}{L} = f(v)$, $\rho = 200 \text{ [kg/m}^3]$

Na slici 13.4. dati su rezultati za veliku vrednost ρ koji pokazuju isti trend.

Na slikama 13.3. i 13.4. broj uz krivu predstavlja vrednost d_E [mm].

Prikaz vrednosti A , K_F , K_P i K_{KK} za ispune različitog d_E pri $\rho = \text{const.}$ date su u tabelama 13.32. i 13.33.

TABELA 32. VREDNOSTI A , K_F , K_P I K_{KK} U FUNKCIJI d_E ZA $\rho = 30$

Oznaka ispune	d_E	A	$K_F \cdot 10^{-2}$	$K_P \cdot 10^{-9}$	K_{KK}
K-1"S"	1,34	40,00	2,50	3,58	3,28
K-2"S"	1,77	27,15	3,68	5,28	3,08
K-3"S"	2,15	14,69	6,80	9,74	1,42
K-1"N"	1,34	36,34	2,75	3,84	4,01
K-2"N"	1,77	22,56	4,43	6,18	3,58
K-3"N"	2,15	14,73	6,79	9,73	1,99

TABELA 33. VREDNOSTI A , K_F , K_P i K_{KK} U FUNKCIJI d_E ZA $\rho = 200$

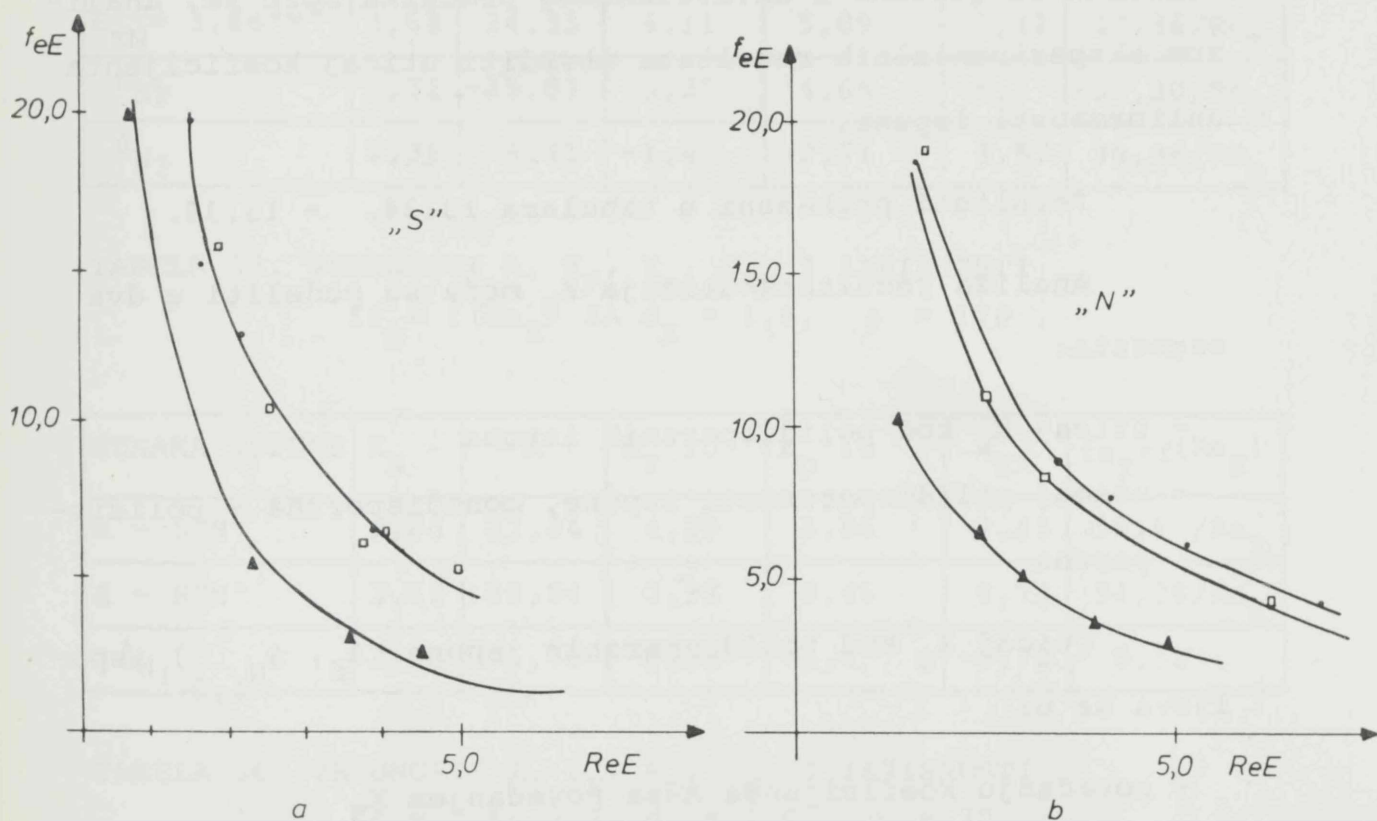
Oznaka ispune	d_E	A	$K_F \cdot 10^{-2}$	$K_P \cdot 10^{-9}$	K_{KK}
E - O"N"	0,72	90,09	1,11	1,55	2,90
MD-1,0T"N"	1,0	60,22	1,66	2,32	1,59
EK-1T"N"	1,34	45,07	2,22	3,18	3,69
MD-1,6T"N"	1,6	45,42	2,20	3,16	4,84

Povećanje d_E (1,34 - 2,15 za $\rho=30$, 0,7-1,6 za $\rho=200$) izaziva promene hidrodinamičkih veličina:

- smanjenje koeficijenta A (40-14, 90-45)
- rast koeficijenta K_F (1,1-2,2, 2,50-6,79)
- rast propustljivosti K_P (1,55-3,16, 3,58-9,73)
- Carman-Kozeny konstanta K_{KK} opada u opsegu većih d_E kod kojih je vrednost $K_N = \text{const}$. Kako ispune u tabeli 13.33.

imaju različite vrednosti K_N to je zbog dvojnog uticaja veličina koje definišu K_{KK} promena zavisnosti poremećena.

- koeficijent hidrauličkog otpora vezano za promenu d_E , se smanjuje sa povećanjem d_E za iste vrednosti Re_E .



Slika 13.5. Zavisnost $fe_E = f(Re_E)$,

a) "S" stanje

b) "N" stanje

$\rho = \text{const.}$

$\circ d_E = 1,34; \quad \square d_E = 1,7; \quad \Delta d_E = 1,0$

13.5. UTICAJ KOEFICIJENTA UNIFORMNOSTI EKSPANDIRANOG POLISTIRENA NA HIDRODINAMIKU STRUJANJA KROZ SLOJ

Pored uočenih fenomena zavisnosti hidrodinamičkih veličina od gustine i ekvivalentnog prečnika može se, analizom eksperimentalnih rezultata utvrditi uticaj koeficijenta uniformnosti ispune.

Rezultati prikazani u tabelama 13.34. - 13.36.

Analiza rezultata uticaja K_N može se podeliti u dva segmenta:

- uticaj K_N kod polidisperznih ispuna
- uticaj polidisperznosti ispune, monodisperzna - polidisperzna

Uticaj K_N kod polidisperznih ispuna ($\Delta_S, \Delta_{N_{1,2}}$) ispoljava se u:

- povećanju koeficijenta A sa povećanjem K_N
- smanjenju K_F sa povećanjem K_N
- smanjenju K_P
- dvojnomo uticaju na K_{KK}
- dvojnomo uticaju na fe_E

Ako se ukaže na već diskutovanu specifičnu strukturu sloja ekspaniranog polistirena gde polidisperzna ispuna,

TABELA 34. VREDNOSTI A, K_F , K_P , K_{KK} I ZAVISNOSTI

$$f_{e_E} = f(Re_E) \text{ ZA } d_E \approx 1,6, \quad \rho = 60$$

OZNAKA ISPUNE	K_N	A	$K_F \cdot 10^{-2}$	$K_P \cdot 10^{-9}$	K_{KK}	$f_{e_E} = f(Re_E)$
$E_{KN} = 2,32"S"$	2,32	22,84	4,38	6,28	1,41	$11,28/Re_E$
$E_{KN} = 3,68"S"$	3,68	31,38	3,19	4,57	5,47	$43,76/Re_E$
Δ_S	1,36	8,54	-1,19	-1,71	4,06	$32,48/Re_E$
MD-1,6L"N"	1,00	42,95	2,33	3,34	7,05	$49,70/Re_E$
$E_{KN} = 2,32"N"$	2,32	17,92	5,58	8,0	1,55	$12,40/Re_E$
$E_{KN} = 3,68"N"$	3,68	24,33	4,11	5,89	5,42	$43,36/Re_E$
Δ_{NP}	2,32	-25,03	3,25	4,66	-5,5	$-37,30/Re_E$
Δ_{N2}	1,36	6,41	-1,47	-2,11	3,87	$30,96/Re_E$

TABELA 35. VREDNOSTI A, K_F , K_P , K_{KK} I ZAVISNOSTI

$$f_{e_E} = f(Re_E) \text{ ZA } d_E \approx 1,6, \quad \rho = 170$$

OZNAKA ISPUNE	K_N	A	$K_F \cdot 10^{-2}$	$K_P \cdot 10^{-9}$	K_{KK}	$f_{e_E} = f(Re_E)$
K - 5"N"	1,60	23,84	4,20	5,86	7,45	$59,6 /Re_E$
E - R"N"	3,68	25,54	3,92	5,46	6,73	$54,08/Re_E$
Δ_{N1}	2,08	1,70	-0,28	-0,4	-0,72	- 5,52

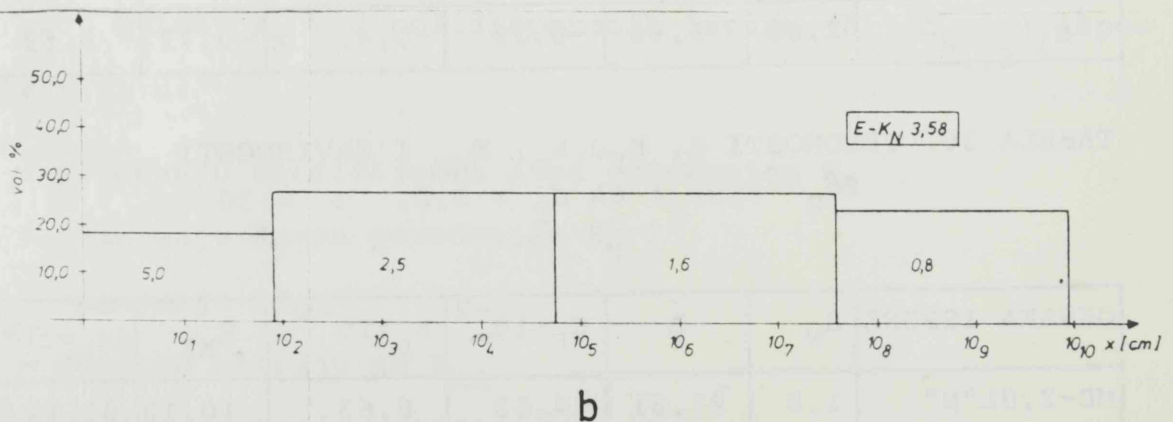
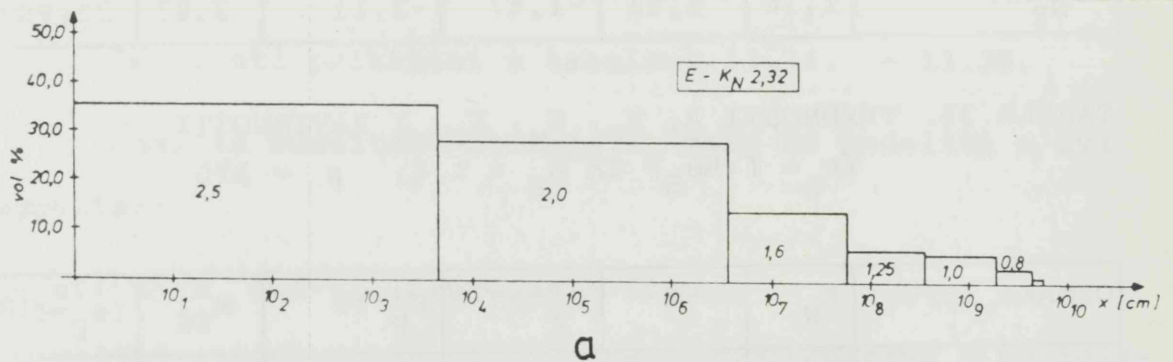
TABELA 36. VREDNOSTI A, K_F , K_P , K_{KK} I ZAVISNOSTI

$$f_{e_E} = f(Re_E) \text{ ZA } d_E = 2,0, \quad \rho = 30$$

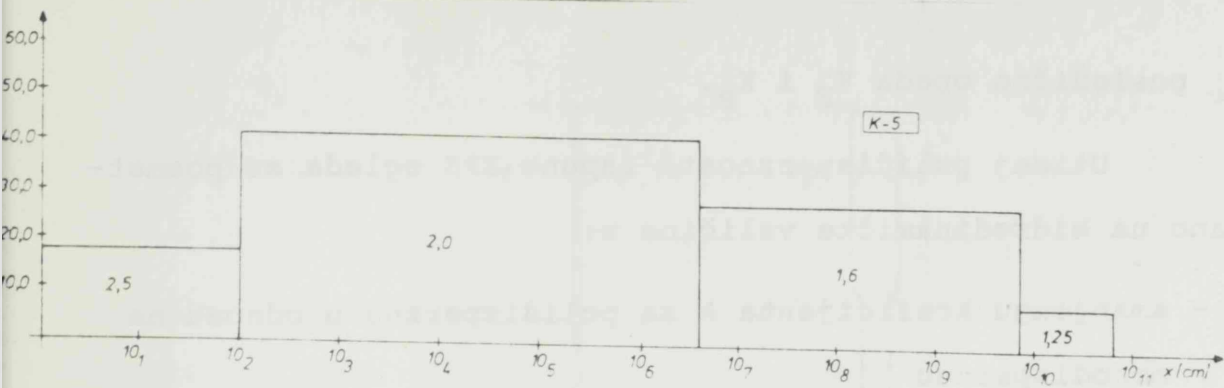
OZNAKA ISPUNE	K_N	A	$K_F \cdot 10^{-2}$	$K_P \cdot 10^{-9}$	K_{KK}	$f_{e_E} = f(Re_E)$
MD-2,0L"N"	1,0	21,61	4,63	6,63	10,18	$81,44/Re_E$
K - 3"N"	1,50	14,73	6,79	9,73	1,99	$15,92/Re_E$
Δ_{NP}	0,5	6,88	2,16	-3,1	8,19	$65,52/Re_E$

ustvari, predstavlja monodisperzne slojeve poredjane po opadajućoj veličini čestica sa vrha ka dnu filtra, tada situacija postaje jasnija.

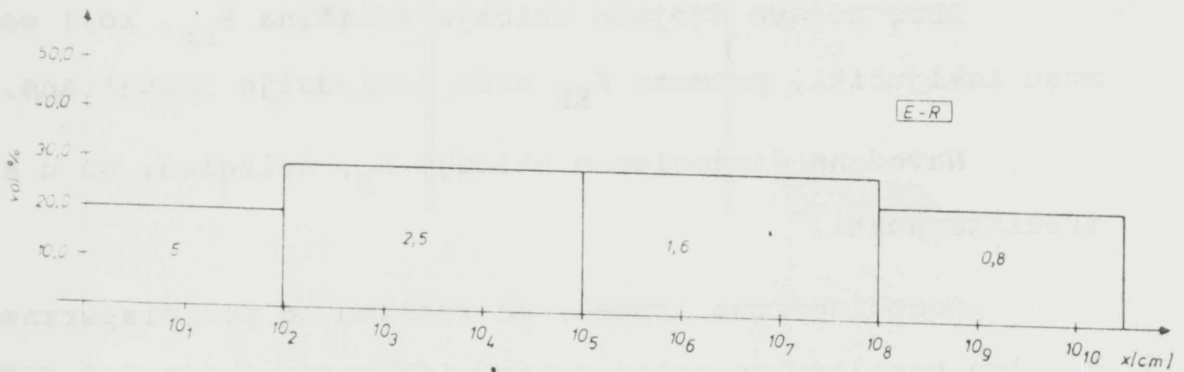
Koristeći šematski prikaz distribucije čestica po dubini filtarske ispune, predložen u ovom radu, mogu se izvući potrebni zaključci za objašnjenje navedenih trendova.



Slika 13.7. Distribucija veličine čestica po dubini
a) ($E - K_N = 2,32$) b) ($E - K_N = 3,68$)



a



b

Slika 13.8. Distribucija veličine čestica po dubini

a) (K - 5), $K_N = 1,6$ b) (E - R), $K_N = 3,68$

Kod ispuna sa većim K_N zastupljene su čestice malog prečnika (0,8) sa mnogo većim zapreminskim procentom. Njihovo prisustvo uslovljava veće gubitke pritiska što utiče i na sumarni rast gubitka pritiska.

Povećanjem gubitka pritiska povećava se koeficijent A,

a, posledično opada K_F i K_P .

Uticaj polidisperznosti ispune EPS ogleda se posmatrano na hidrodinamičke veličine u:

- smanjenju koeficijenta A za polidisperznu u odnosu na monodisperznu
- posledično, povećanju K_F
- posledično povećanju K_P

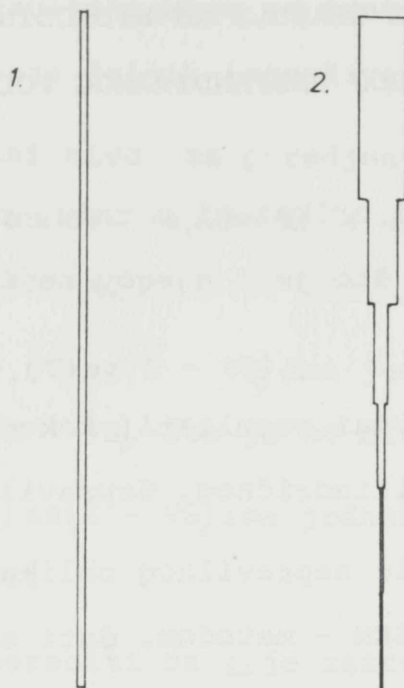
Zbog pojave dvojnog uticaja veličina K_{KK} , koji se ne mogu isključiti, promena K_{KK} neće biti dalje razmatrana.

Navedene činjenice o uticaju K_N , naizgled, su u kontradiktornosti.

Monodisperzna ispuna, za razliku od polidisperzne d_E , ima kapilare po celoj dubini ispune istog poprečnog preseka, što uslovljava velike gubitke pritiska u prvih 30 |cm| sloja.

Kod polidisperznih ispuna kapilare su sa vrha ka dnu sa opadajućim prečnikom što joj daje oblik levka. To utiče na mnogo manje gubitke pritiska u gornjim delovima ispune, te i na manje vrednosti koeficijenta A.

Šematski prikaz strukture kapilare po dubini monodisperzne i polidisperzne ispune dat je na slici 13.8.



Slika 13.8. Šematski prikaz kapilare monodisperzne i polidisperzne ispune

Sumarno, uticaj K_N na hidrodinamičke veličine može se prikazati:

- promenom $K_N = 1$ na više, vrednost koeficijenta A opada do određene mere da bi daljim porastom K_N koeficijent A počeo da raste. To ukazuje da postoji vrednost K_N za koju koeficijent A dostiže minimum.

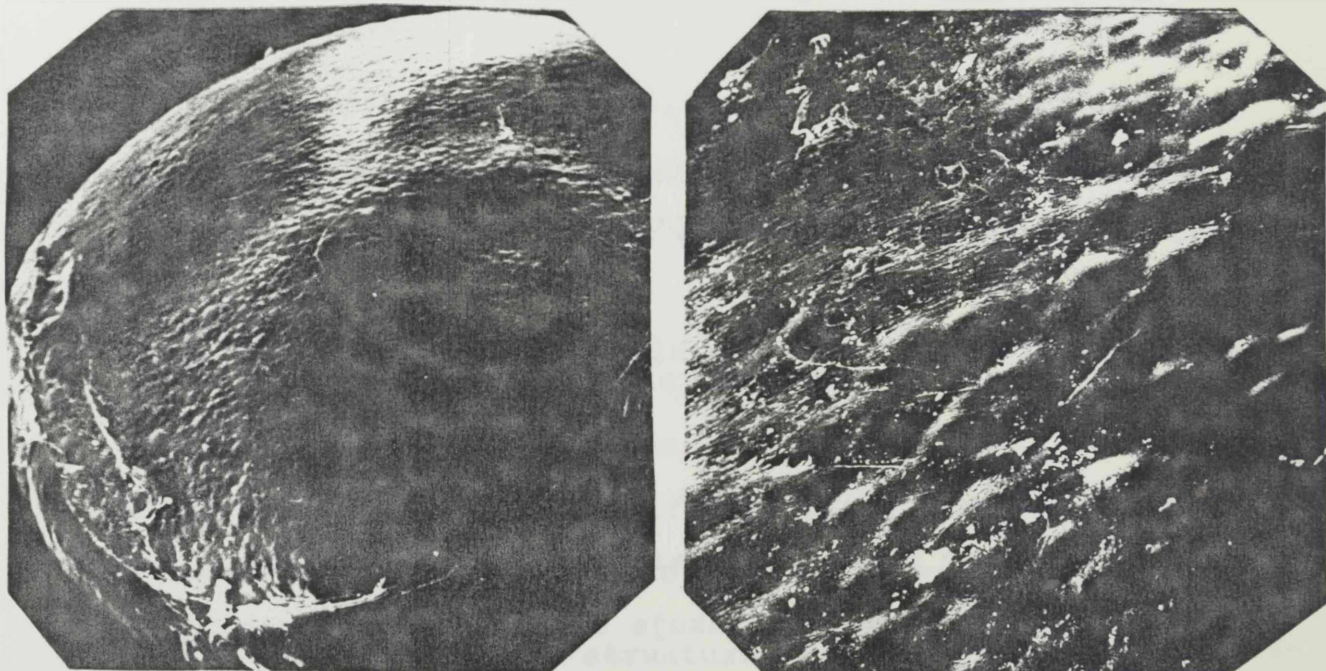
Navedena zapažanja neophodno je detaljno ispitati u daljem radu.

13.6. UTICAJ OBLIKA GRANULE NA HIDRODINAMIKU STRUJANJA KROZ SLOJ EKSPANDIRANOG POLISTIRENA

Svi rezultati prikazani u radu, radjeni su na sfernom obliku granule EPS, što je i njegov najčešći proizvodni oblik.

Nisu publikovani rezultati, kakve promene u sloju EPS, izazivaju granule cilindričnog, nepravilnog oblika.

Izgled granule nepravilnog oblika i kvalitet njene površine snimljeni SEM - metodom, dati su na slici 13.9.



a

b

Slika 13.9. Izgled granule nepravilnog oblika EPS

a) granula, SEM x 72

b) detalj površine iste granule SEM x 300

Prikazani rezultati mogu se tretirati kao ilustracija i osnov za usmeravanje daljih istraživanja u narednom periodu.

Kao referentni nivo za poredjenje dobivenih rezultata na raspolaganju su dve ispune koje sa datom, (E-VS), imaju jednake neke od veličina.

Ispuna (MD-2,0T) sa (E - VS) ima jednako d_E , d_{10} i ρ , dok je $K_N = 1,5$ za (E - VS), što je od bitnog značaja.

Ispuna (K - 3) sa (E - VS) ima jednako d_E , d_{10} , K_N , mnogo manju gustinu EPS.

Moguće je uporediti da li je zastupljen utvrđeni uticaj gustine na hidrodinamičke veličine.

Vrednosti hidrodinamičkih veličina za navedene ispune date su u tabeli 13.37.

Gde je:

$$\Delta_{N_1}' = -(E-VS) - (MD-2,0T)$$

$$\Delta_{N_2}' = -(E-VS) - (K-3)$$

Vrednosti Δ_{N_2}' ukazuju da ispune sa različitom gustinom EPS imaju ekvivalentne hidrodinamičke veličine. Za očekivati je, na osnovu prethodnih rezultata, da kod ispune veće gustine dolazi do povećanja A, tj. smanjenja K_F i K_P .

Ispuna (E - VS) ima manju vrednost A, nepravilan oblik

granula uslovio je smanjenje gubitka pritiska u odnosu na sferne granule pri istim brzinama strujanja.

TABELA 37. VREDNOSTI A , K_F , K_P , K_{KK} , $f_{e_E} = f(Re_E)$
ZA ISPUNE (MD-2,0T), (E-VS), (K-3)

Oznaka ispune	d_E	ρ	K_N	A	$K_F 10^{-2}$	$K_P 10^{-9}$	K_{KK}	$f_{e_E} = f(Re_E)$
MD-2,0T "N"	2,00	120	1,0	21,79	4,59	6,58	3,40	$27,2/Re_E$
E-VS"N"	2,26	120	1,34	14,43	6,93	9,94	1,51	$12,08/Re_E$
K-3"N"	2,15	25	1,35	14,69	6,80	9,74	1,42	$11,36/Re_E$
$\Delta'_1 N_1$	-	0	0,34	-7,36	2,34	3,66	-1,89	$39,28/Re_E$
$\Delta'_2 N_2$	-	95	0	0	0	0	0	\approx

13.7. UTICAJ ZIDA UREDJAJA NA HIDRODINAMIKU STRUJANJA KROZ
SLOJ EKSPANDIRANOG POLISTIRENA

Vrednosti odabranih hidrodinamičkih veličina za ispu-
nu (K - 6) na filtru (M) dati su u tabeli 13.38.

TABELA 13.38. HIDRODINAMIČKE VELIČINE ZA FILTER (M),
ISPUNA (K - 6) U "N" STANJU

$\frac{\Delta P}{L} = 23,18v$ $k = 0,991$		Oznaka filtra "N"						K - 6 (M)		
$v \cdot 10^{-3}$	$\frac{\Delta P}{L}$	ρ	μ	d_E	ϵ	K_F	K_P	K_{KK}	Re_E	fe_E
0	0	1031,33	0,00145	0,00171	0,46	$4,31 \cdot 10^{-2}$	$6,18 \cdot 10^{-9}$	4,32	0	α
0,625	0,010								0,93	37,10
0,875	0,017								1,30	26,507
1,25	0,024								1,86	18,55
1,666	0,030								2,48	13,92
2,50	0,055								3,10	11,15

Kada se prikažu komparativne vrednosti hidrodinamičkih veličina za filtre(E) i(M), dato u tabeli 13.39., dolazi se do sledećih konstatacija:

- vrednost koeficijenta A veća je za(M) filter što ukazuje na veće gubitke pritiska pri istim brzinama strujanja kroz sloj
- vrednost K_F opada za filter(M), shodno promeni A
- vrednost K_P opada za filter(M)
- K_{KK} veće je kod filtra(M)

TABELA 39. KOMPARATIVNE HIDRODINAMIČKE VELIČINE, FILTRA (E) I FILTRA (M), ZA ISPUNU (K-6), PRI "N" STANJU

Oznaka filtra	A	$K_F 10^{-2}$	$K_P 10^{-9}$	K_{KK}	$f_{e_E} = f(Re_E)$
E	11,44	8,74	12,50	2,47	$19,76/Re_E$
M	23,18	4,31	6,18	4,32	$34,56/Re_E$

Ukupni gubici pritiska mogu se objasniti upravo uticajem zida. Kod filtra (E) udeo tečnosti, od ukupnog toka, koji prodje uza zid je veći nego kod filtra (M). Rezultat toga su manji gubici pritiska tj. veća propustljivost kod filtra (E).

U cilju da se eliminiše uticaj zida na filtru (E) i (T), na prvih 30 |cm|, pre svih eksperimenata nalepljene su polovine granula EPS. I pored ove intervencije uticaj zida je znatan.

14.0. FILTRACIJA KROZ SLOJ EKSPANDIRANOG POLISTIRENA

U eksperimentima istraživanja fenomena i zakonitosti filtracije kroz sloj EPS korišćen je rastvor FeSO_4 , u koncentraciji Fe^{2+} jona od 5 [mg/l], kao konstantna veličina. U težnji da se što više isključe dodatni uticaji na proces filtracije odabrana je deferizacija.

Proces otklanjanja gvoždja iz modelnog rastvora omogućavao je održavanje konstantnim parametre bitne za proces filtracije:

- koncentracija suspenzije
- PH vrednost suspenzije
- starost flokula suspenzije
- koncentracija prisutnih anjona
- temperatura

Problematika deferizacije podzemnih voda, kao i otklanjanje metalnih jonova iz otpadnih voda je od izuzetnog značaja, te eksperimenti dati u ovom radu predstavljaju kako doprinos teoriji i praksi filtracije, tako i doprinos tehnologiji deferizacije.

Zahtev kvaliteta filtrata preuzet je iz kvaliteta

voda za piće, gde je maksimalni dozvoljeni sadržaj gvoždja 0,3 |mg/l|. S obzirom na ulazni sadržaj od 5 |mg/l|, odnos $C_i/C_o = 0,06$ predstavlja maksimalnu efikasnost, tj. donju granicu efikasnosti jednostepenih filtara.

14.1. MODELNI RASTVOR GVOŽDJA

Vodena suspenzija sa sadržajem gvoždja od 5 |mg/l| pripremana je od koncentrovanog rastvora $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ zakišeljenog malom količinom cc HNO_3 , kontinualno. U rezervoar, označen kao R, dovodjena je voda odredjenim protokom, u zavisnosti od broja oglada obavljanih istovremeno i kapacitet vezanih filtara, dok je $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ doziran kapljanjem.

Kvalitet vode od koje je namešavan modelni rastvor dat je u tabeli 14.1.

Modelni rastvor, sa prisutnim fero jonom, podvrgavan je, pre filtracije, aeraciji, tj. oksidaciji vazдушnim kiseonikom.

Korišćene su dve tehnologije aeracije:

- aeracija slobodnim padom tečnosti kroz filtarsku nadgrađu (TD - 1)
- dodatna aeracija komprimovanim vazduhom distribuiranim u zapreminu suspenzije (TD - 2)

TABELA 14.1.1. KVALITET VODE KORIŠĆENE ZA PRIPREMU MODELNOG RASTVORA

PARAM.	t°C	MJIN. NIU	PH	CO ₂ mg/l	SUVI OST. mg/l	KMnO ₄ mg/l	Cl- mg/l	Fe mg/l	TVRD. °dH	Mn mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	SO ₄ ⁻² mg/l
MIN.	12	0,48	7,0	11,8	494	5,6	27,3	0,03	16,6	0	88,8	12,6	51
MAX.	16	0,19	7,5	42,0	606	7,4	37,7	0,07	20,4	0,03	120,8	30,2	80,7
SRED.	14	0,34	7,2	30,9	550	6,5	32,5	0,05	18,5	0,02	104,8	21,4	65,9

U obe tehnologije vršena je oksidacija Fe^{2+} jona do potpunog prevodjenja u Fe^{3+} .

Uvodjenje tehnologije (TD - 2) bila je neminovnost, u cilju povećanja kapaciteta filtra na veće brzine filtracije, kao i u cilju poboljšanja kvaliteta filtrata i skraćivanja vremena uhodavanja.

Kompatibilnost dobijenih rezultata, shodno literaturi trebalo bi da bude potpuna.

Ispitivanja svojstava i filtracije svežih flokula $\text{Fe}(\text{OH})_3$ i flokula starih 4 časa, pri $\text{PH} = 7$ nisu pokazala bitne razlike (150,151).

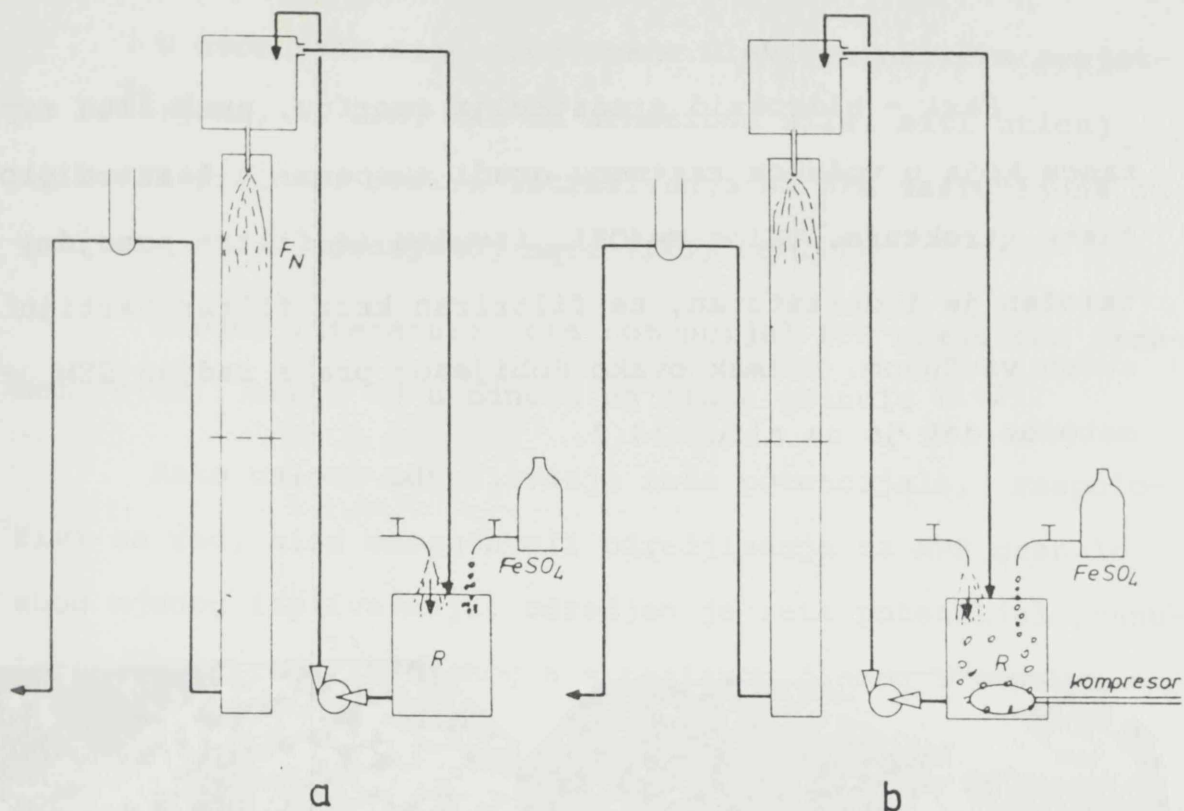
Razlika starosti flokule u tehnologiji 1 i 2 je reda veličine 0,5 - 1,0 časa.

Šematski prikaz navedenih tehnologija dat je na slici 14.1.

Praktično, tehnologija 2 predstavlja dopunsku aeraciju tehnologije 1.

Tokom filtarskog ciklusa praćen je permanentno, sadržaj gvoždja u model rastvoru, kao i efikasnost prevodjenja u Fe^{3+} jon.

Tokom filtarskog ciklusa (na sat ili na 3 sata), određivan je sadržaj gvoždja u filtratu.



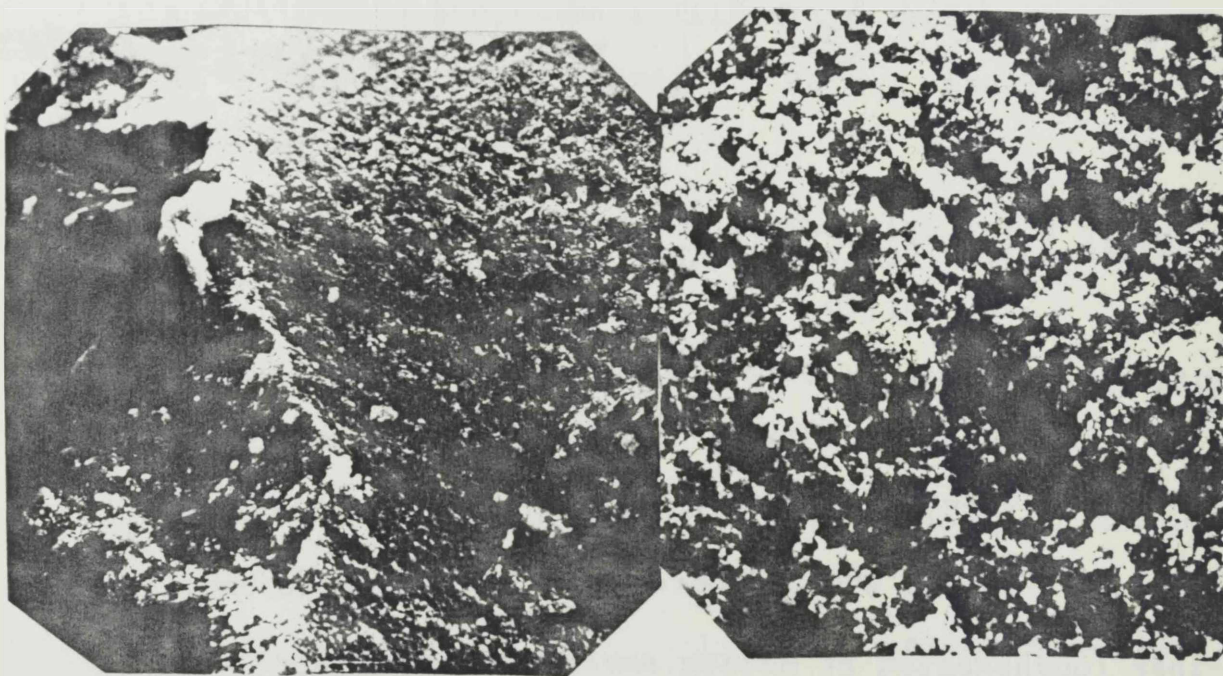
Slika 14.1. Šematski prikaz aeracije
a) (TD - 1) b) (TD - 2)

Uzorci su držani, do odredjivanja, u staklenim posudama i konzervisani sa cc HNO_3 .

Sadržaj gvoždja odredjivan je spektrofotometrijski dvema metodama:

- ukupno gvoždje uz sulfosalicilnu kiselinu
- trovalentno i ukupno gvoždje uz kalijumrodanid (iz razlike računato dvovalentno gvoždje).

Feri - hidroksid predstavlja amorfnu, praškastu supstancu koja u vodenom rastvoru gradi suspenziju čestica pločaste strukture. Talog $\text{Fe}(\text{OH})_3$ izvučen iz filtra pranjem, taložen je i dekantovan, te filtriran kroz filter hartiju i sušen vazduhom. Snimak ovako dobijenog praha radjen SEM - metodom dat je na slici 14.2.



a

b

Slika 14.2. $\text{Fe}(\text{OH})_3$ snimljen SEM - metodom

a) SEM x 720

b) SEM x 72000

U ovom radu nisu proučavana elektrokinetička svojstva Fe^{3+} jona, ni EPS, kao ni adhezivne sile, niti uticaj njihovih promena. Ovakva istraživanja na EPS zastupljena su u literaturi u određenoj meri (143,206-217).

Shodno literaturi zeta potencijal EPS presvučen skramom $\text{Fe}(\text{OH})_3$ menja se u odnosu na čistu granulu (143).

Kako uslovi određivanja zeta potencijala, raspoloživi za rad, nisu omogućavali određivanja za EPS granule zbog njenog isplivavanja, određen je zeta potencijal granula polistirena zasićenog n - pentanom čistog i sa skramom $\text{Fe}(\text{OH})_3$.

Dobiveni rezultati merenja zeta potencijala na $t=20^\circ\text{C}$ dati su u tabeli 14.2.

Merenja potvrđuju poznatu činjenicu da skrama zadržalog $\text{Fe}(\text{OH})_3$ menja elektrokinetička svojstva ispune.

TABELA 14.2. VREDNOSTI ZETA POTENCIJALA NA $t = 20^{\circ}\text{C}$

Čestica	zeta potencijal mV, $t = 20^{\circ}\text{C}$
$\text{Fe}(\text{OH})_3$ star. 15 min.	+ 25,20
polistiren (z) čist	- 57,20
polistiren (z) gvoždjevit	- 30,08

14.2. ANALIZA UTICAJA OSOBINA EKSPANDIRANOG POLISTIRENA NA FILTRACIJU

Prilikom proučavanja hidrodinamike strujanja kroz sloj EPS, bila je na raspolaganju široka paleta kvaliteta EPS. U slučaju filtracije, neminovno, uslovima zahteva d_E , veliki broj ispuna ($d_E > 1,7$) nije omogućavao filtraciju za odabrane radne brzine.

Eksperimentalni program realizovan u domenu filtracije, ne može se smatrati optimalnim, nego realno mogućim, vezano za raspoložive kvalitete ispune u ovom trenutku.

Veliki deo filtarskih ciklusa radjen je pri $d_E = 1,6 - 1,7$, što je realno velik d_E . Malo je raspoloživih eksperimentalnih podataka u literaturi na datom d_E , pogotovu, za slučaj deferizacije. Iako su, na neki način, eksperimentalne mogućnosti bile sužene, rezultati predstavljaju značajan doprinos teoriji i praksi.

Analiza efikasnosti filtracije EPS datog kvaliteta ocenjivana je na osnovu sledećih parametara:

- dužina filtarskog ciklusa, |h|
- vreme uhodavanja, |h|
- prosečan kvalitet filtrata, |mg/l|

- zavisnost $\frac{\Delta P}{L} = f(t)$
- maksimalni gubitak pritiska po debljini ispune, $(\frac{\Delta P}{L})_{\max}$
- maksimalni prirast pritiska $H = H_{\max} - H_0$, |cm|
- početni pritisak H_0 , |cm|

Filtarski ciklusi radjeni su pri brzini filtracije od 5 |m/h|. U cilju povećanja kapaciteta filtra deo eksperimenta realizovan je pri brzinama filtracije od 7,5 |m/h| i 10 |m/h|.

14.3. UTICAJ SABIJENOSTI ISPUNE NA FILTRACIJU KROZ SLOJ EKSPANDIRANOG POLISTIRENA

Uticaj sabijenosti ispune na filtraciju analiziran je realizovanim filtarskim ciklusima na ispuni u "S" i u "N" stanju, pri nepromenjenim ostalim uslovima.

Dobiveni rezultati za ispune (K - 1), (K - 2) i (K - 5), pri definisanim brzinama filtracije dati su tabelarno.

Istraživanja uticaja sabijenosti ispune na filtraciju limitirana su:

- velikim vrednostima d_E ispune, te u nekim slučajevima nije bila moguća filtracija u "N" stanju, naročito izražena za veće brzine filtracije

- velikim vrednostima gustine EPS, shodno uočenom uticaju gustine EPS na osobine sloja u "N" stanju, takodje je filtracija u nekim ispunama bila onemogućena.

Opšta zapažanja i konstatacije na osnovu rezultata datih u tabeli 14.3. su:

- kod ispuna u "N" stanju filtarski ciklusi su nešto duži nego u "S" stanju (shodno porastu $\Delta\varepsilon_2$)
- pri filtraciji, za ispune u "N" stanju realizuje se filtrat nešto lošijeg kvaliteta nego u "S" stanju
- kod svih ispuna rast gubitka pritiska tokom filtracije je linearno zavisano od vremena, sa visokim koeficijentom korelacije. Kod ispuna u "N" stanju odsečak prave manji je od ispuna u "S" stanju, što ukazuje da su apsolutne vrednosti gubitaka pritiska u vremenu za "N" stanje manji
- kako su gubici pritiska u "S" stanju pri filtraciji veći to su i maksimalni gubici pritiska veći, kao i maksimalni rast pritiska iznad filtarske ispune.

TABELA 3. PRIKAZ REZULTATA FILTARSKIH CIKLUSA ZA ISPUNE (K-1), (K-2), (K-5) U "S" I "N" STANJU (TD-1)

OZNAKA ISPUNE	BRZINA FILTRACIJE	DUŽINA F CIKLUSA	KVALITET FILTRATA	VREME UHODAVANJA	$\frac{\Delta p}{L} = f(t)$	$(\frac{\Delta p}{L})_{max}$	H	H _O
K - 1 "S"	5	42	0,02	0	$0,0145t+0,041$ $k=0,998$	0,72	67	27
K - 1 "N"	5	45	0,03	0	$0,0094t+0,0133$ $k=0,985$	0,40	37	23
K - 1 "S"	10	3	0,05	0	$0,0253t+0,117$ $k=0,994$	0,22	13	35
K - 1 "N"	10	4	0,07	0	$0,1750t+0,047$ $k=0,974$	0,13	3	35
K - 2 "S"	5	28	0,02	0	$0,0041t+0,036$ $k=0,992$	0,21	34	22
K - 2 "N"	5	33	0,14	2	$0,0058t+0,0073$ $k=0,992$	0,19	18	21
K - 5 "S"	10	12	0,02	1	$0,0225t+0,0832$ $k=0,997$	0,40	30	36
K - 5 "N"	10	0	-	7	-	0,14	12	31

14.4. UTICAJ GUSTINE ISPUNE NA FILTRACIJU KROZ SLOJ EKSPANDIRANOG POLISTIRENA

Shodno ranijim razmatranjima o uticaju gustine EPS na strukturu i poroznost sloja kao i na hrapavost zida kapilare data je analiza tih efekata na filtraciju.

Ispune su istih d_E , istih vrednosti K_N , različitih gustina EPS. Rezultati prikazani u tabeli 14.4.

Analizom prikazanih rezultata mogu se podvući sledeća zapažanja:

- dužina filtarskog ciklusa se skraćuje sa porastom gustine EPS (iznimno $(K - 5)$, $(E - R)$ zbog nemonolitnosti frakcija). Ova konstatacija može se logično objasniti ako se proanaliziraju sile koje deluju u porama ispune. Na zadržani talog deluju kinetička sila toka fluida (F_1), težina taloga (F_2), sila potiska ispune (F_3). Jasno je, da dok traje zaštitno dejstvo filtra sila (F_3) uspeva da savlada zbirno sile ($F_1 + F_2$). Sile (F_1) i (F_2) rastu u vremenu, dok (F_3) zavisi samo od gustine EPS. Kako je za manje gustine EPS sila (F_3) veća to je i za očekivati duži filtarski ciklus kod ispuna manje gustine. Utvrđene činjenice kod hidrodinamičkih veličina doprinose objašnjenju uticaja gustine na filtraciju. Kod EPS velike gustine, zbog tesnog prislanjanja granula, javljaju se veći gubici pritiska što uslovljava brži rast hidrodinamičkih sila i proboj taloga

TABELA 4. KARAKTERISTIČNE VELIČINE FILTARSKIH CIKLUSA ZA ISPUNE SA ρ RAZLIČITO

OZNAKA ISPUNE	ρ	$\frac{H}{K}$ $\frac{H}{L}$	BRZINA FILTRACIJE	DUŽINA F CIKLUSA	KVALITET FILTRATA	VREME UHODAVANJA	$\frac{\Delta p}{L} = f(t)$	$(\frac{\Delta p}{L})_{max}$	H	H _O
K - 2	30	1,5	5	33	0,14	2	0,0058t+0,0073 k=0,992	0,19	18	21
K - 5	173	1,77; 1,5	5	39*	0,01	0	0,0056t+0,0120 k=0,987	0,24	24	22
E _{KN} - 2,32	64	2,32	5	54	0,16-0,25	6	0,00021t+0,0246 k=0,796	0,03	1,6	21
K - 6	124	1,71K _N	5	30	0,20	5	0,00053t+0,0184 k=0,834	0,04	3,3	23
MD-1,6L	65	1,60K _N	5	29	0,13	0	0,0141t+0,136 k=0,586	0,16	5,0	29
MD-1,6T	190	1,60K _N	5	14(30)	0,03	0	0,0022t+0,054 k=0,981	0,08 0,12	3,0 8,0	26
E _{KN} - 3,68	55	3,68	5	21-10	0,3	10	0,00089t+0,0352 k=0,978	0,05	2,0	21
E - R	168	1,62K _N	5	13*	0,14	0	0,0044t+0,0440 k=0,939	0,10	5	22
K - 1	30	1,75	5	45	0,03	0	0,0094t+0,0133 k=0,985	0,40	37	23
E _K - 1T	210	1,34K _N	5	12	0,08	0	0,00243t+0,0737 k=0,726	0,08	8	26

- što se tiče kvaliteta filtrata ne može se uočiti zavisnost od gustine EPS

- kada se posmatra zavisnost $\frac{\Delta P}{L} = f(t)$, ona je u svim slučajevima opisana jednačinom prave sa relativno visokim vrednostima koeficijenta korelacije. Uticaj gustine EPS na koeficijent pravca i odsečak date zavisnosti nije utvrđen

- vrednosti $\left(\frac{\Delta P}{L}\right)_{\max}$ su veoma male kao i vrednosti H

14.5. UTICAJ EKVIVALENTNOG PREČNIKA ISPUNE NA FILTRACIJU
KROZ SLOJ EKSPANDIRANOG POLISTIRENA

Kod ekspandiranog polistirena za razliku od teških ispuna, povećanje d_E ima direktan efekat u smislu povećanja prečnika kapilara, naročito u prvim slojevima filtra. Kako je konsolidacija sloja oblika n - monodisperznih slojeva, tada je jasno da male promene d_E izuzetno utiču na filtraciju kroz EPS. U tabeli 14.5. dat je pregled filtarskih ciklusa za ispune sa različitim d_E pri $\rho = \text{const.}$, pri istim uslovima deferizacije. U daljoj analizi sve su ispune u "N" stanju, što je realna situacija za gravitacionu filtraciju kroz EPS (ispune u daljem tekstu bez indeksa "N").

Analiza rezultata uticaja d_E na filtraciju kroz EPS data je za interval d_E (0,72 - 1,70), za dve gustine EPS, pri konstantnoj brzini filtracije. Kako se ne raspolaže u ovom trenutku sa dovoljnim brojem uzoraka željenog kvaliteta, nije bilo moguće proveriti postojeće relacije d_E na dužinu zaštitnog dejstva filtra (135-138). . . Prikazani rezultati daju opšti uvid pri kome je nezavisno od gustine EPS:

- filtarski ciklus kraći sa povećanjem d_E , dok kvalitet filtrata ne pokazuje zavisnost
- sa povećanjem d_E , shodno očekivanju, smanjuje se vrednost

TABELA 5. PRIKAZ REZULTATA FILTARSKIH CIKLUSA ZA ISPUNE SA $d_E \neq \text{const.}$ $\rho = \text{const.}$

OZNAKA ISPUNE	d_E	$\frac{d_E}{d_0}$	BRZINA FILTRACIJE	DUŽINA F CIKLUSA	KVALITET FILTRATA	VREME UHODAVANJA	$\frac{\Delta P}{L} = f(t)$	$(\frac{\Delta P}{L})_{\text{max}}$	H	H_0
K - 1 "S"	1,34	1,3	5	42	0,02	0	$0,0145t+0,041$ $k=0,998$	0,72	67	27
	1,71		5	28	0,02	0	$0,0041t+0,036$ $k=0,992$	0,21	34	22
K - 1	1,34	1,3	5	45	0,03	0	$0,0094t+0,01333$ $k=0,985$	0,40	37	23
	1,71		5	33	0,14	2	$0,0058t+0,0073$ $k=0,992$	0,19	18	21
E - 0	0,72	2	5	30*	0,07	0	$0,0128t+0,1928$ $k=0,926$	0,55	-	38
	1,0		5	29*	0,04	0	$0,0308t+0,0764$ $k=0,994$	0,94	80	33
EK-1T	1,34	2	5	12	0,08	0	$0,0024t+0,0737$ $k=0,726$	0,08	8	26
	1,6		5	14 Δ	0,03	0	$0,0022t+0,0540$ $k=0,981$	0,08	3	26

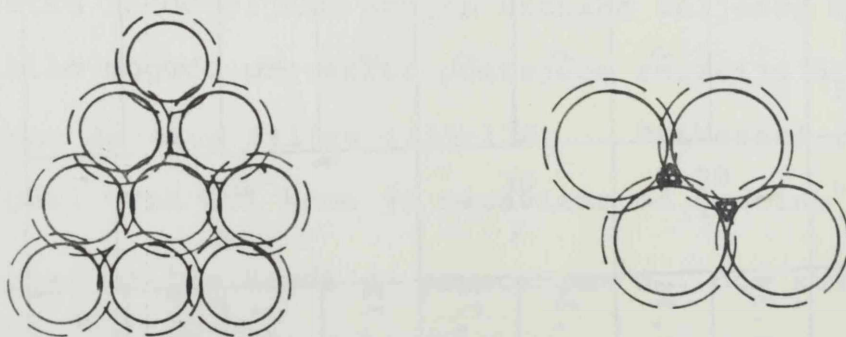
* ISKORIŠĆENA MAKSIMALNA VISINA

Δ UTICAJ MONODISPERZNOSTI

odsečka prave $\frac{\Delta P}{L} = f(t)$, tj. smanjuje se rast gubitka pritiska u jedinici vremena

- najveću zavisnost od d_E pokazuju vrednosti $(\frac{\Delta P}{L})_{\max}$ i H koje izuzetno rastu sa smanjenjem d_E tako da se ciklusi za $d_E < 1,3$ završavaju zbog dostizanja maksimalno raspoloživog pritiska

Kod monodisperznih ispuna, po celoj dubini, dimenzijama pora su jednake kao i realne brzine strujanja, tako i radijusi delovanja ispune. Radijus delovanja ispune R_D definiše oblast uticaja granule na čestice taloga. Na vrednost R_D utiče priroda ispune kao i priroda taloga. Sa povećanjem prečnika monodisperzne ispune povećavaju se dimenzije pora, smanjuje se uticaj hidrodinamičkih sila, ali se u porama javlja prostor u kome nema uticaja prirode granule, tj. koji nije u oblasti ni jednog R_D , što je prikazano šematski na slici 14.3.

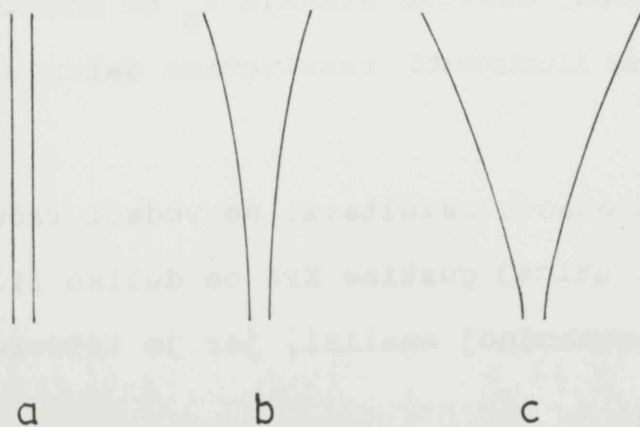


Slika 14.3. Šematski prikaz uticaja R_D za različito d_E

14.6. UTICAJ KOEFICIJENTA UNIFORMNOSTI NA FILTRACIJU

KROZ SLOJ EKSPANDIRANOG POLISTIRENA

Povećanjem K_N menja se struktura kapilara sa vrha prema dnu ispune tako što raste prečnik na vrhu, a smanjuje se na dnu. Kapilara dobija oblik levka koji ima određeni otvor kao i prečnik i dužinu vrata što utiče zajedno sa d_E i ρ EPS na količinu taloga koju ispuna može da nosi. Šematski prikaz strukture kapilare vezano za vrednost K_N dat je na slici 14.4.



Slika 14.4. Struktura kapilare po dubini filtarske ispune

a) $K_N = 1$

b) K_N srednje

c) K_N veliko

Jasno je, da za postavljeni zadatak filtracije, postoji optimalni oblik i struktura kapilare sa vrha prema dnu ispune.

Porastom vrednosti K_N , za nepromenjeno d_E , postoji efekat porasta veličine granule po dubini ispune. Za dato d_E postoji optimalno K_N koje garantuje maksimalni kvalitet filtrata i maksimalnu dužinu filtarskog ciklusa. Za veliko K_N , u gornjem delovima ispune, postoje slojevi sa mrtvim prostorom, bez uticaja R_D , te je verovatnoća otklanjanja taloga prepuštena donjim delovima ispune, što je adekvatno smanjenju debljine monodisperzne ispune. Smanjenjem K_N za dato d_E smanjuje se uloga donjih delova ispune, a potencirano gornjih, čime je efikasnost otklanjanja taloga veća.

Značaj analize uticaja K_N na efekte filtracije kroz EPS može se ilustrovati rezultatima datim u tabelama 14.6. i 14.7.

Na osnovu rezultata, ne vodeći računa o K_N , ne može se uočiti uticaj gustine EPS na dužinu filtarskog ciklusa dato u prethodnoj analizi, jer je istovremeno uključen i uticaj K_N .

U tabeli 14.7. dati su rezultati filtracije za ispunu pri $d_E = \text{const.}$ i $\rho = \text{const.}$ za rastuće K_N . Neophodno je

podvući da je posmatrani d_E izuzetno velik i da sa povećanjem K_N može doći čak i do onemogućavanja filtracije. Ovu analizu neminovno je potvrditi na manjim vrednostima d_E .

O mogućem uticaju K_N može se istaći sledeće:

- povećanjem K_N povećava se dužina filtarskog ciklusa do određene granice. Za dato d_E postoji optimalno K_N ispunne, daljim povećanjem K_N filtracija se pogoršava. Dati uticaj utvrđen je i u hidrodinamici.

Značajno bi bilo utvrditi, u daljem radu, u kojoj meri optimalna vrednost K_N zavisi od d_E i od gustine EPS.

TABELA 6. KARAKTERISTIČNE VELIČINE FILTARSKIH CIKLUSA
 ZA $d_E = 1,6 - 1,7$ U FUNKCIJI ρ

Oznaka ispune	ρ	Dužina F cikl.	Kvalitet filtrata	Vreme uhod.
K - 2	30	33	0,14	2
$E_{KN}=3,68$	55	21-10	0,3	10
$E_{KN}=2,32$	64	54	0,2	6
MD-1,6L	65	29	0,13	0
K - 6	124	30	0,2	5
E - R	168	16	0,22	3
K - 5	173	39	0,01	0
MD-1,6T	190	14	0,03	0

TABELA 7. KARAKTERISTIČNE VELIČINE FILTARSKIH CIKLUSA ZA ISPUNE SA K_N RAZLIČITO, $\rho = \text{const}$ $d_E=1,6-1,7$

OZNAKA ISPUNE	ρ K_N	TD	BRZINA FILTRACIJE	DUŽINA F CIKLUSA	KVALITET FILTRATA	VREME UHODAVANJA	$\frac{\Delta P}{L} = f(t)$	$(\frac{\Delta P}{L})_{\text{max}}$	H	H _O
MD-1,6L	65 1,0	2	5	29	0,13	0	$0,0141t+0,136$ $k=0,586$	0,16	5,0	29
E- $K_N=2,32$	64 2,32	2	5	54	0,16-0,25	6	$0,00021t+0,0246$ $k=0,796$	0,03	1,6	21
E $K_N=3,68$	55 3,68	2	5	21-10	0,3	10	$0,00089t+0,0352$ $k=0,978$	0,05	2,0	21
K - 5	173 1,6	1	5	39	0,01	0	$0,0056t+0,0120$ $k=0,987$	0,24	24	22
E - R	168 3,68	1	5	16	0,25	3	$0,0062t+0,0445$ $k=0,986$	0,14	11	22

14.7. MOGUĆNOST POVEĆANJA KAPACITETA FILTRA F - EPS/04

Pri tehnologiji deferizacije (TD - 1), pokušalo se sa povećanjem kapaciteta filtra povećavajući brzinu filtracije. To nije bilo moguće ni za jednu formulaciju osim za (MD - 1).

Analizirajući uzroke došlo se do sledećih konstatacija:

Pri većim brzinama filtracije skraćivalo se vreme kontakta modelnog rastvora sa vazduhom pri padu tečnosti kroz FN, te aeracija nije davala potrebnu efikasnost. Merenja su pokazala da je pri brzini filtracije od $v = 7,5$ |m/h| oko 90% Fe^{2+} prevedeno u Fe^{3+} , dok je pri $v = 10$ |m/h| svega oko 60 - 70% Fe^{2+} prevedeno u Fe^{3+} . Ta činjenica se odražavala kod filtracije, pri povećanim brzinama, u pojavi i produžavanju vremena uhodavanja filtra (u literaturi poznato kao termin inicijalno vreme). Iako u literaturi ima niz navoda o katalitičkom delovanju filtarske ispune presvučene skramom $Fe(OH)_3$, taj efekat nije bio dovoljan da u datom slučaju obezbedi zahtevani kvalitet filtrata, shodno rezultatima prikazanim u tabeli 14.8.

Pored toga vreme uhodavanja pojavljuje se i kod ispunene (E - R), koja ima maksimalnu vrednost $K_N = 3,68$, već i pri $v = 5,0$ |m/h|.

TABELA 8. KARAKTERISTIČNE VELIČINE FILTARSKIH CIKLUSA
PRI (TD - 1) ZA RAZLIČITE BRZINE FILTRACIJE

Oznaka ispune	Brzina filtr.	Dužina F cikl.	Vreme uhod.	Kvalitet filtrata
K - 1	5,0	45	0	0,03
	7,5	-	-	-
	10,0	16,5	5	0,05
K - 2	5,0	32	0	0,14
	7,5	20	4	0,11
	10,0	7	6	< 0,3
K - 5	5,0	39	0	0,01
	7,5	-	-	-
	10,0	6	5	< 0,3
MD - 1	5,0	29	0	0,04
	7,5	21	6	0,08
	10,0	6	4	0,22
E - O	5,0	26	6*	0,07
	7,5	3	3	< 0,3
	10,0	-	-	-
E - R	5,0	16,5	3,5*	0,22
		-	-	-

Za (E-R) predpostavlja se da je zbog specifične strukture kapilare pri maksimalnom K_N , u gornjim delovima ispune otežano formiranje taloga, te je to moguće, u početku, samo u donjim delovima ispune. Datum strukturom kapilare skraćeno je vreme kontakta ispune i flokule $Fe(OH)_3$.

Kod ispune (E - O), takodje se već pri v_1 pojavljuje vreme uhodavanja, što se može objasniti, takodje, skraćenim vremenom kontakta granule sa flokulom $Fe(OH)_3$. Ispuna ima mali $d_E = 0,72$, te su kapilare najmanjih prečnika, što izaziva povećanje realne brzine strujanja kroz nju.

Povećanjem i/ili brzine filtracije, koeficijenta uniformnosti, kao i smanjenjem d_E promenili su se uslovi međusobnog kontakta ispune i flokule $Fe(OH)_3$ (skraćeno vreme kontakta).

Analizirajući nastale probleme, sa ciljem da se reše na zadovoljavajući način, tražio se put kako da se obezbede povoljni uslovi kontakta ispune i flokule $Fe(OH)_3$ i za problematične formulacije (E - R) (E - O) kao i za veće brzine filtracije.

Uvodjenje dodatne aeracije tehnologijom deferizacije (TD - 2) koja je obezbedjivala efikasnost prevodjenja Fe^{2+} jona u Fe^{3+} od 100%, rešilo je gore navedene probleme.

TABELA 9. KARAKTERISTIČNE VELIČINE FILTARSKIH CIKLUSA
PRI (TD - 1) I (TD - 2)

Ispuna	Brzina filtr.	TD - 1			TD - 2		
		Dužina F cikl.	Vreme uhod.	Kvalitet filtrata	Dužina F cikl.	Vreme uhod.	Kvalitet filtrata
E - O	5,0	26	6	0,07	30	0	0,08
	7,5	3	3	< 0,3	7	0	0,24
	10,0	0	α	< 0,3	6	0	0,16
E - R	5,0	16,5	3,5	0,22	13	0	0,14

Da bi se analizirao uticaj broja kontakta flokula sa granulom, koji se menja sa promenom d_E i K_N ispune uradjena je serija filtarskih ciklusa sa koncentracijom Fe^{2+} jona od 25 [mg/l]. Time se postiže da se povećanjem brzine filtracije obezbedjuje dovoljan broj kontakata flokule zbog njihovog drastično povećanog broja u blizini granule. Ostali uslovi bili su nepromenjeni.

Rezultati realizovani na ispunama (K - 1) i (K - 5) daju se u tabeli 14.10.

Može se podvući, da i za povećanu brzinu filtracije filtarski ciklus ima zadovoljavajuću dužinu.

TABELA 10. KARAKTERISTIČNE VELIČINE FILTARSKIH CIKLUSA
PRI $C_0 = 25$ [mg/l] UZ (TD - 2)

Oznaka ispune	Brzina filtr.	Dužina F ciklusa	Vreme uhodav.	Kvalitet filtrata
K - 1	5,0	14	0	0,09
	7,5	14	0	0,09
	10,0	0	∞	< 0,3
K - 5	5,0	10	0	0,09
	7,5	7	0	0,25
	10,0	0	∞	< 0,3

14.8. UTICAJ ZIDA UREDJAJA NA FILTRACIJU KROZ SLOJ
EKSPANDIRANOG POLISTIRENA

Filtarski ciklusi realizovani na filtrima (E) i (M) radjeni su pri nepromenjenim svim radnim parametrima, na ispunjenosti (K - 6), u "N" stanju, pri tehnologiji deferizacije (TD - 2). Rezultati dati u tabeli 14.11.

TABELA 11. KARAKTERISTIČNE VELIČINE FILTARSKIH CIKLUSA,
FILTAR (E) I (M), (K - 6), (TD - 2), "N", $v=5$ |m/h|

Oznaka filtra	Dužina F cikl.	Kvalitet filtrata	Vreme uhod.	$\frac{\Delta P}{L} = f(t)$	$(\frac{\Delta P}{L})_{\max}$	H	H ₀
E	30	0,20	5	$0,00053t+0,0184$ $k=0,834$	0,04	3,3	23
M	42	0,13	0	$0,00077t+0,0209$ $k=0,850$	0,06	6,3	45

Mora se podvući da je dužina filtarskog ciklusa na (M) filtru znatno duža, kvalitet filtrata znatno bolji, uz odsutvo vremena uhodavanja, pri neznatno većim vrednostima $\left(\frac{\Delta P}{L}\right)_{\max}$, H i H₀.

To znači da uspešnost ekspaniranog polistirena kao filtarske ispune, na šta ukazuje kompletan realizovan program, u praksi mora biti još mnogo bolja.

15.0. P R I L O G P R O U Č A V A N J U K I N E T I K E F I L T R A C I J E

15.1. KOMPARATIVNA ANALIZA METODA ZA PROUČAVANJE KINETIKE FILTRACIJE

U odsustvu metoda i načina proučavanja kinetike filtracije tokom odvijanja filtarskog ciklusa, neminovno je koristiti metode koje ometaju ili čak prekidaju proces filtracije. Na koji način utvrditi distribuciju taloga po dubini filtarske ispune u nekom trenutku ili na kraju ciklusa i kako se razmešta talog po dubini koji stiže u jedinici vremena u filter?

Neku sliku o distribuciji taloga po dubini ispune daje analiza gubitaka pritiska po nivoima filtarske ispune ($\Delta P_i = f(t) \quad X = \text{const.}$ ili $h/h_0 = f(X) \quad t = \text{const.}$).

Jedna od najviše korišćenih metoda je koncentraciona metoda - uzorkovanje tečnosti bočno po dubini filtarske ispune i odredjivanje karakterističnog parametra čije prisustvo treba da se utvrdi. Ograničenja ove metode ogledaju se u:

- uzorkovanjem tečnosti sa bočnih mesta remeti se režim strujanja i priroda distribucije taloga

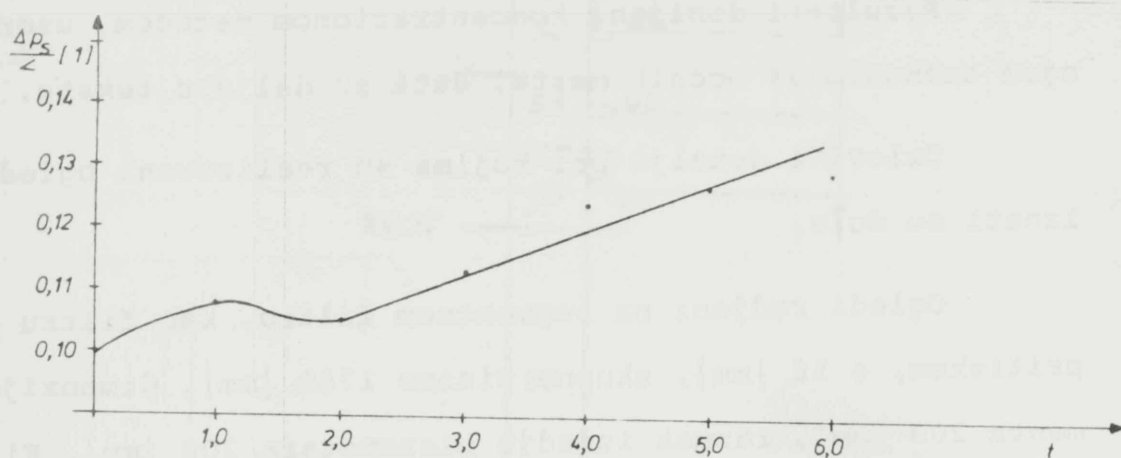
- gubi se određena količina taloga
- minimalan broj mesta uzorkovanja kreće se 5 - 6, a maksimalni dozvoljeni rashod tečnosti 4 - 5% od toka tj. kapaciteta filtra. S obzirom na relativno male gubitke laboratorijskih uređaja to predstavlja veoma malu količinu što podeljeno na 5 - 6 mesta uzorkovanja čini smetnje pri uzimanju uzorka. Kako bi minimalno bio rešen režim toka bočna mesta su tokom ogleda permanentno otvorena . Uzorkovanje suspenzije $\text{Fe}(\text{OH})_3$ je problematično jer su čestice koloidne, relativno krupne te se dodatno prikupljaju na mestu ispuštanja i povremeno provaljuju napolje.

Želeći da se stekne uvid o preciznosti slike tj. informacije koju koncentraciona metoda daje o kinetici uradjen je komparativni test na segmentnom filtru. Može se podvući da su obe tehnike mukotrpe što se tiče obima tehničkog posla pri realizaciji ogleda.

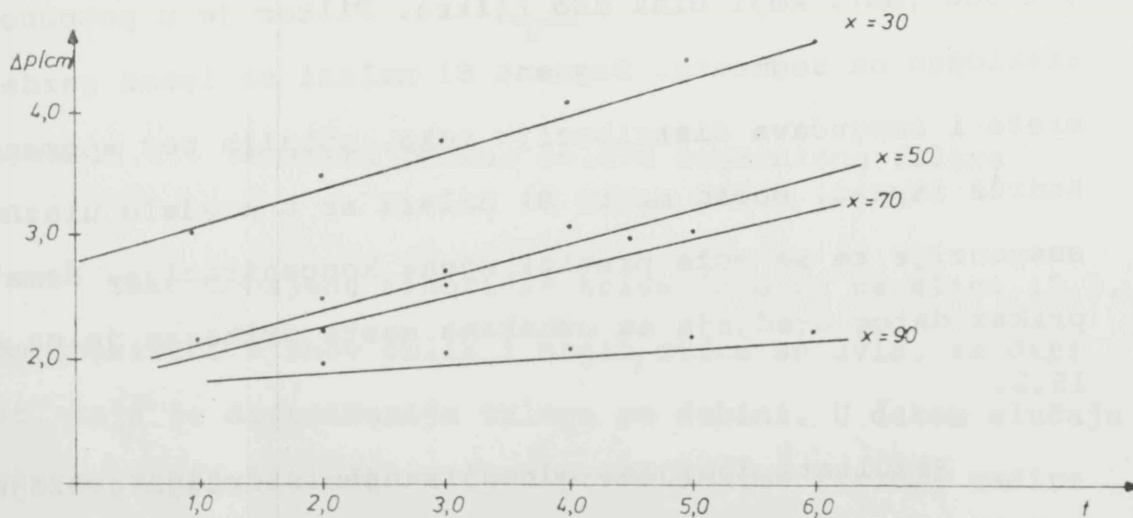
Koncentraciona metoda u svakom satu rada ima sedam uzoraka. Kada se konstatuje činjenica da filtarski ciklusi traju 30 - 50 sati, to čini 210-350 uzoraka za analizu.

Segmentni filter takodje zahteva veliki obim tehničkog posla, no rezultati dobiveni na njemu čine kvantitativne vrednosti tj. realnu sliku distribucije taloga.

Koristeći vrednosti piezometarskih pritisaka konstruisani su dijagrami dati na slici 15.1., za ispunu (MD-1,6T) i brzinu filtracije $v = 10 \text{ [m/h]}$



a



b

Slika 15.1. a) sumarni gubitak po jedinici debljine ispune u funkciji vremena
b) gubici pritiska po dubini filtarske ispune u funkciji vremena

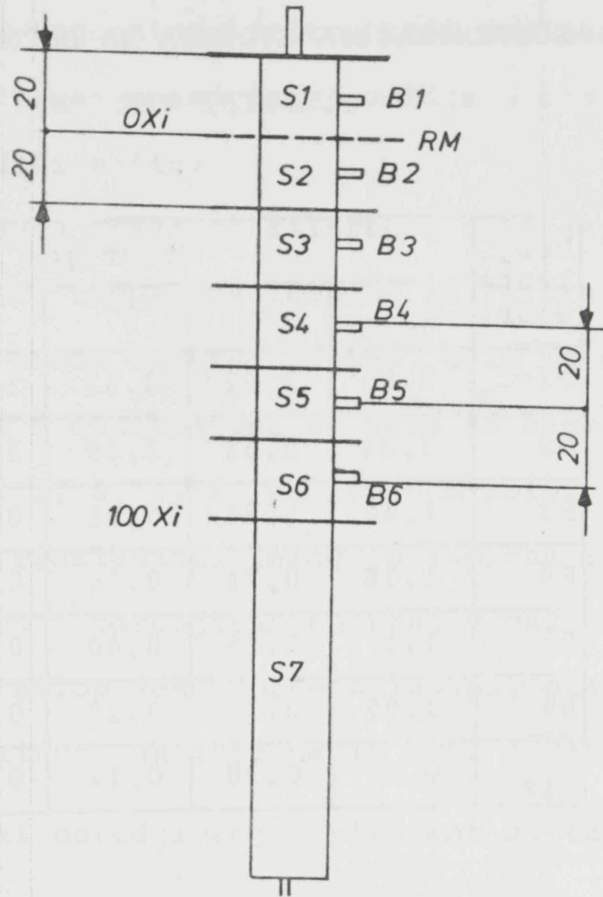
Na osnovu prikazanog može se zaključiti da talog zadržava i do 70 |cm| u dubinu filtarske ispune, no nema informacija kako je po količini distribuiran talog u funkciji debljine.

Rezultati dobijeni koncentracionom metodom, uzorkovanjem tečnosti sa bočnih mesta, dati su dalje u tekstu.

Uslovi i detalji pri kojima su realizovani ogledi izneti su dole.

Ogledi radjeni na segmentnom filtru, kao filtru pod pritiskom, ϕ 50 |mm|, ukupne visine 1700 |mm|, dimenzije segmenta 200 |mm|, razmak između piezometara 200 |mm|. Filtar je sastavljen iz ukupno sedam segmenata, 6 x 200 |mm| i 1 x 500 |mm|, koji čini dno filtra. Filtar je u potpunosti rasklopan na segmente. Segment S1 nalazi se iznad razdelne mreže i omogućava distribuciju toka, ostalih pet segmenata sadrže ispunu. Bočno mesto B1 nalazi se u predelu ulazne suspenzije te se može pratiti njena koncentracija. Šematski prikaz datog uređjaja sa oznakama mesta prikazan je na slici 15.2.

Rezultati dobijeni određivanjem sadržaja gvoždja sa bočnih mesta u funkciji vremena prikazani su u tabeli 12.1. Rezultati se shodno literaturi, mogu koristiti za konstrukciju kinetičkih krivih $C_{xi}/C_o = f(X)$ za $t = \text{const.}$

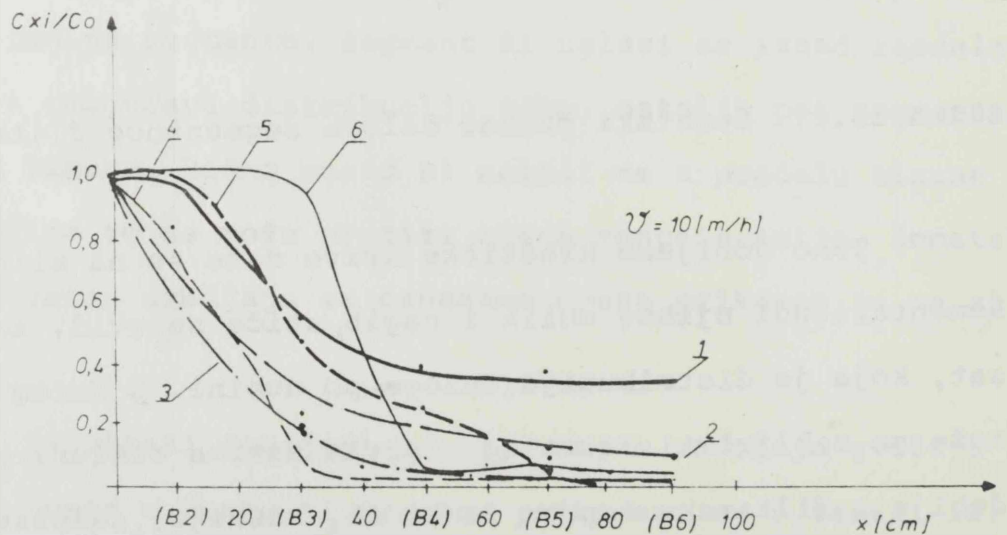


Slika 15.2. Šematski prikaz delova segmentnog filtra

Tako dobijene kinetičke krive date su na slici 15.3. Komentarišući njihov oblik i nagib, stiče se uvid, za dati sat, koja je distribucija taloga po dubini. U datom slučaju može se zaključiti da talog u prvim satima ciklusa zadire dublje u filtarsku ispunu da bi se, kasnije, zadržavao na dubini od 50 - 60 |cm|.

TABELA 15.1. KONCENTRACIJA GVOŽDJA SA BOČNIH MESTA U
FUNKCIJI VREMENA

Broj mesta uzor.	Vreme h					
	1	2	3	4	5	6
$B1=C_0$	2,90	3,52	3,82	3,43	3,43	7,3
B2	3,24	2,51	2,59	2,66	4,89	6,19
B3	1,66	1,26	0,71	0,67	1,66	8,86
B4	1,16	0,71	0,36	0,24	0,86	1,21
B5	1,1	0,45	0,40	0,20	0,28	0,40
B6	1,05	0,36	0,20	0,12	0,40	0,32
C_{iz}	0,9	0,28	0,12	0,12	0,32	0,45



Slika 15.3. Kinetičke krive za ispunu(MD-1,6T) za $t = \text{const.}$

Ogled na segmentnom filtru koji je imao za cilj kvantitativno utvrđivanje sadržaja gvoždja u segmentima izvođen je na sledeći način:

— Posle dva sata trajanja filtrskog ciklusa, filtracija je prekinuta, ispuštena tečnost iz filtra putem bočnih mesta i to redom od vrha ka dnu, osim iz segmenta 7. Segment 2 i 6 oslobodjeni su veze sa segmentima 1 i 7, segmenti 2, 3, 4, 5, 6 sa ispunom položeni horizontalno i redom rasklapani. Talog je ispiran iz svakog segmenta separatno i određivan sadržaj gvoždja. Zatim je filter ponovo sklopljen, ubačena ispuna, startovana filtracija i prekinuta na isti način kroz 4 časa.—

Rezultati određivanja prikazani su tabelarno u tabelama 15.2. i 15.3.

Ako se % distribucije ukupne količine gvoždja po dubini ispune posle 2,4 i 6 sati filtracije prikažu grafički dobijaju se krive izgleda datog na slici 15.4.

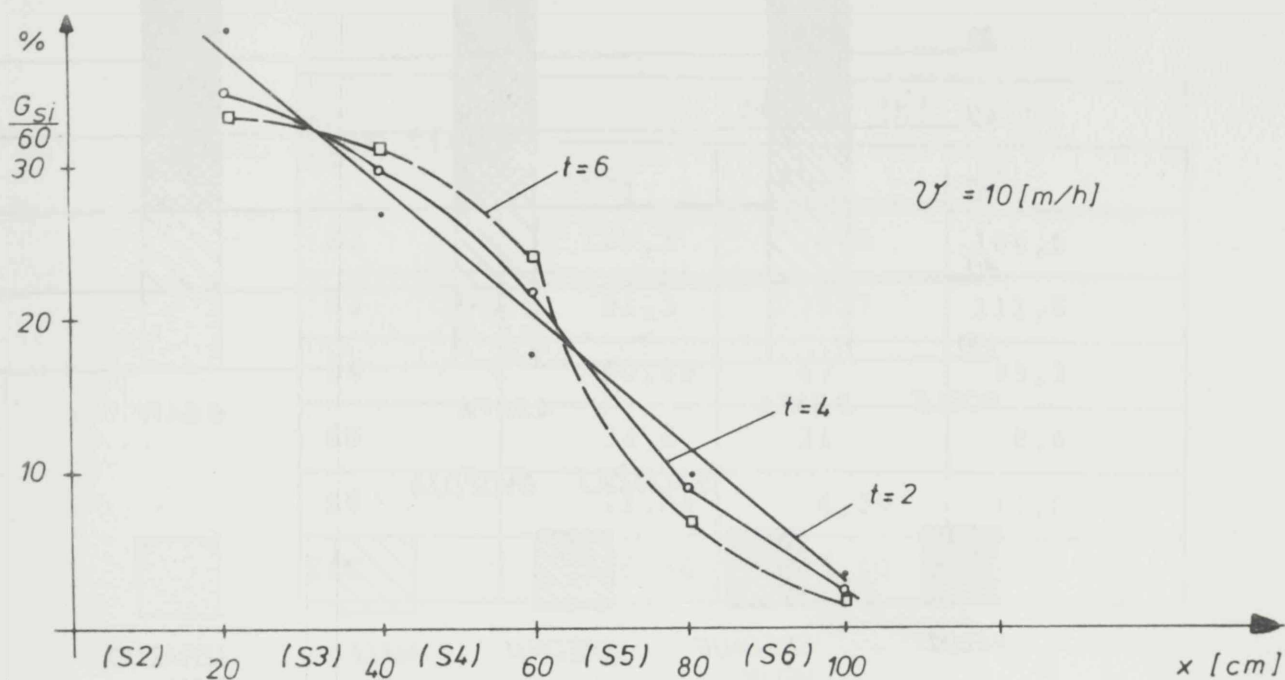
Može se ukazati da je u prva dva sata distribucija taloga dublja u filtarsku ispunu da bi se kasnije pomerila prema gornjim delovima ispune do 60 |cm| debljine, što je konstatovano i prethodnim metodama.

TABELA 15.2. KOLIČINA $\text{Fe}(\text{OH})_3$ PO SEGMENTIMA POSLE
2, 4 I 6 SATI FILTRACIJE

Broj segmen.	Vreme h		
	2	4	6
S2	129,1	199,9	304,5
S3	91,3	171	282,6
S4	60,69	127,7	223
S5	34,40	55,4	64
S6	11,54	16,5	26,5
Σ mg	326,46	570,5	900,6

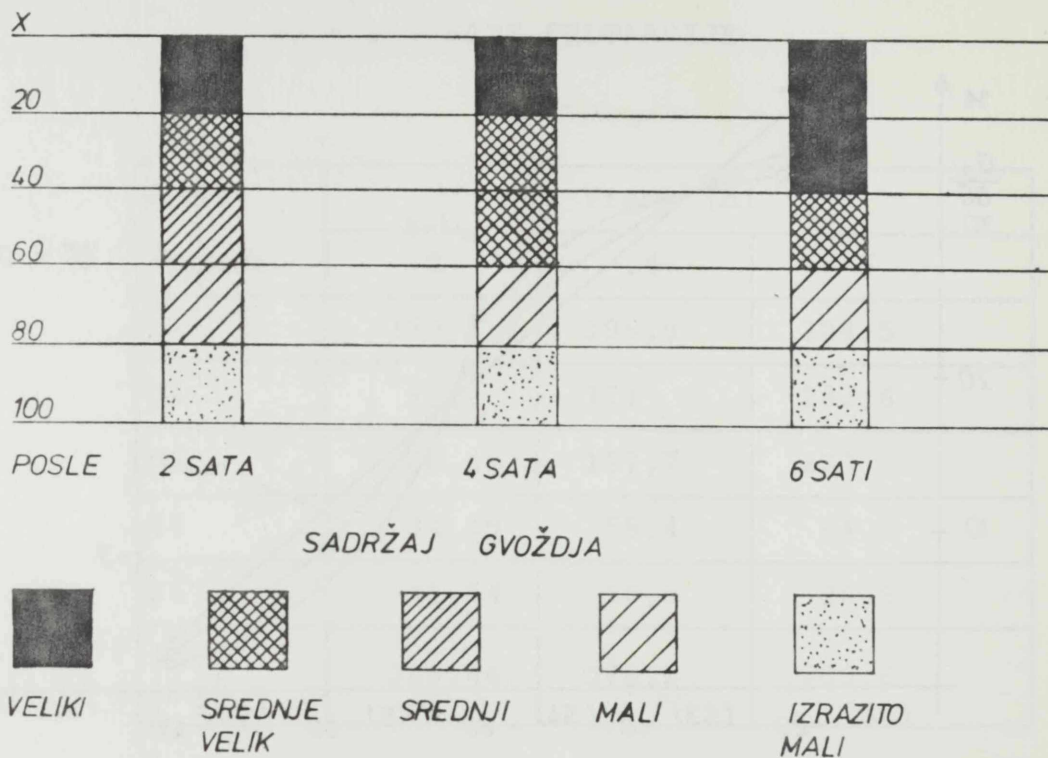
TABELA 15.3. DISTRIBUCIJA $\text{Fe}(\text{OH})_3$ U % PO SEGMENTIMA POSLE
2, 4 I 6 SATI FILTRACIJE

Broj segmen.	Vreme h		
	2	4	6
S2	39,54	35,04	33,81
S3	27,67	29,97	31,38
S4	18,59	22,38	24,76
S5	10,53	9,71	7,11
S6	3,53	2,89	2,98
Σ mg	100	99,99	100



Slika 15.4. Distribucija ukupne količine $Fe(OH)_3$ po dubini filtarske ispune (MD-1,6T)

Ako se na osnovu podataka iz tabele 15.2. izračuna prirast taloga u toku dva sata filtracije može se dati distribucija prirasta po dubini prikazano tabelama 15.4. i 15.5.



- Slika 15.5. Distribucija $\text{Fe}(\text{OH})_3$ po dubini filtarske ispunice posle 2, 4 i 6 sati filtracije

Tako se stiče uvid o kvantitativnoj distribuciji kakve ukupne količine tako i prirasta taloga po dubini filtarske ispunice. Postvalja se pitanje da li u narednim satima filtracije novopridošli talog prodire dublje u ispunu ili potiskuje

TABELA 15.4. PRIRAST KOLIČINE $\text{Fe}(\text{OH})_3$ PO SEGMENTIMA ZA VREME OD 2 SATA

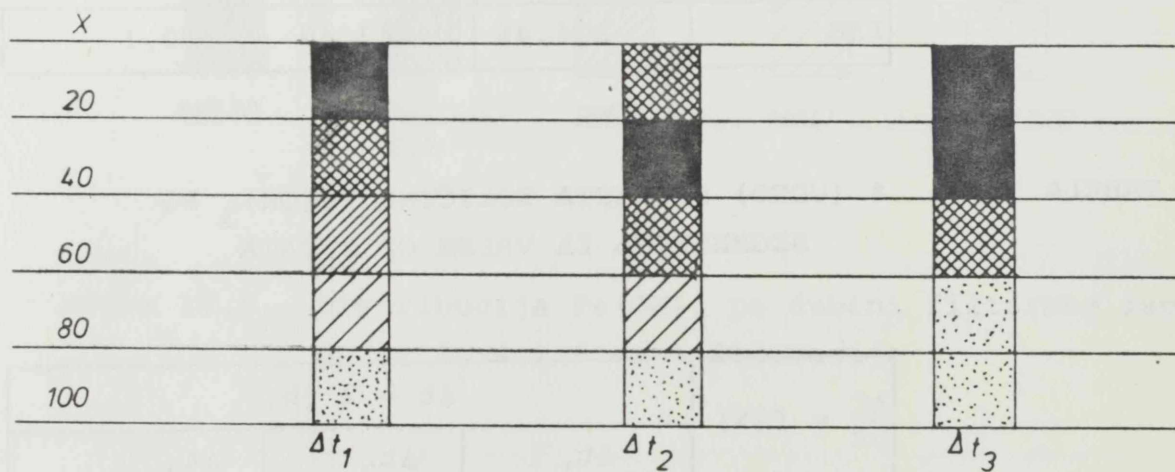
$\frac{\Delta C}{\Delta t} = f(X)$	$\Delta t = 2 \text{ h }$		
	Δt_1	Δt_2	Δt_3
S2	129,1	70,8	104,6
S3	91,3	79,7	111,6
S4	60,69	67	95,3
S5	34,4	21	8,6
S6	11,54	4,59	10,0
$\Sigma \Delta C$	326,46	243,40	330,1

TABELA 15.5. % (UDEO) PRIRASTA KOLIČINE $\text{Fe}(\text{OH})_3$ PO SEGMENTIMA ZA VREME OD 2 SATA

$\frac{\Delta C}{\Delta t} = f(X)$	$\Delta t = 2 \text{ h }$		
	Δt_1	Δt_2	Δt_3
S2	39,54	29,08	31,5
S3	27,97	32,7	33,8
S4	18,59	27,5	28,8
S5	10,5	8,62	2,6
S6	3,53	0,62	3,03
$\Sigma \Delta C$	100	100	100

već postojeći talog? Uloženo je puno napora da se da odgovor od strane velikog broja istraživača, no pitanja su još uvek otvorena. (92 - 101, 134 - 138).

Distribucija prirasta taloga po dubini ispune može se šematski prikazati kao na slici 15.6.



Slika 15.6. Distribucija prirasta $\text{Fe}(\text{OH})_3$ po dubini ispune za $\Delta t = 2 |h|$

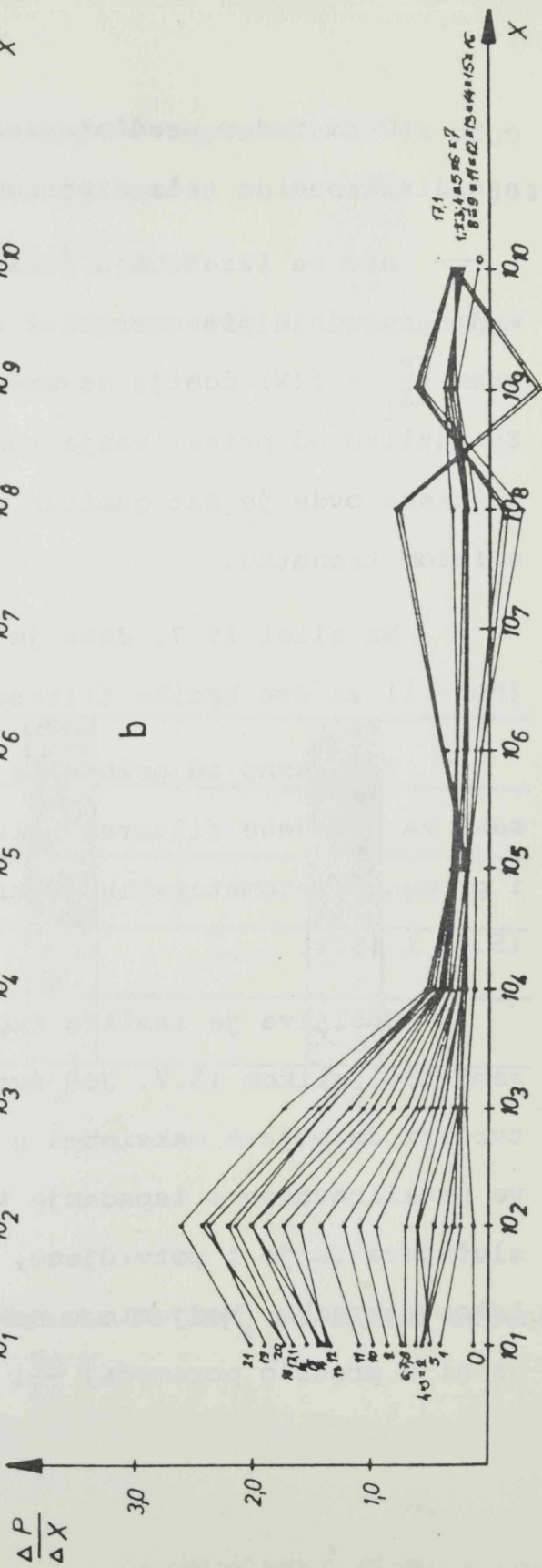
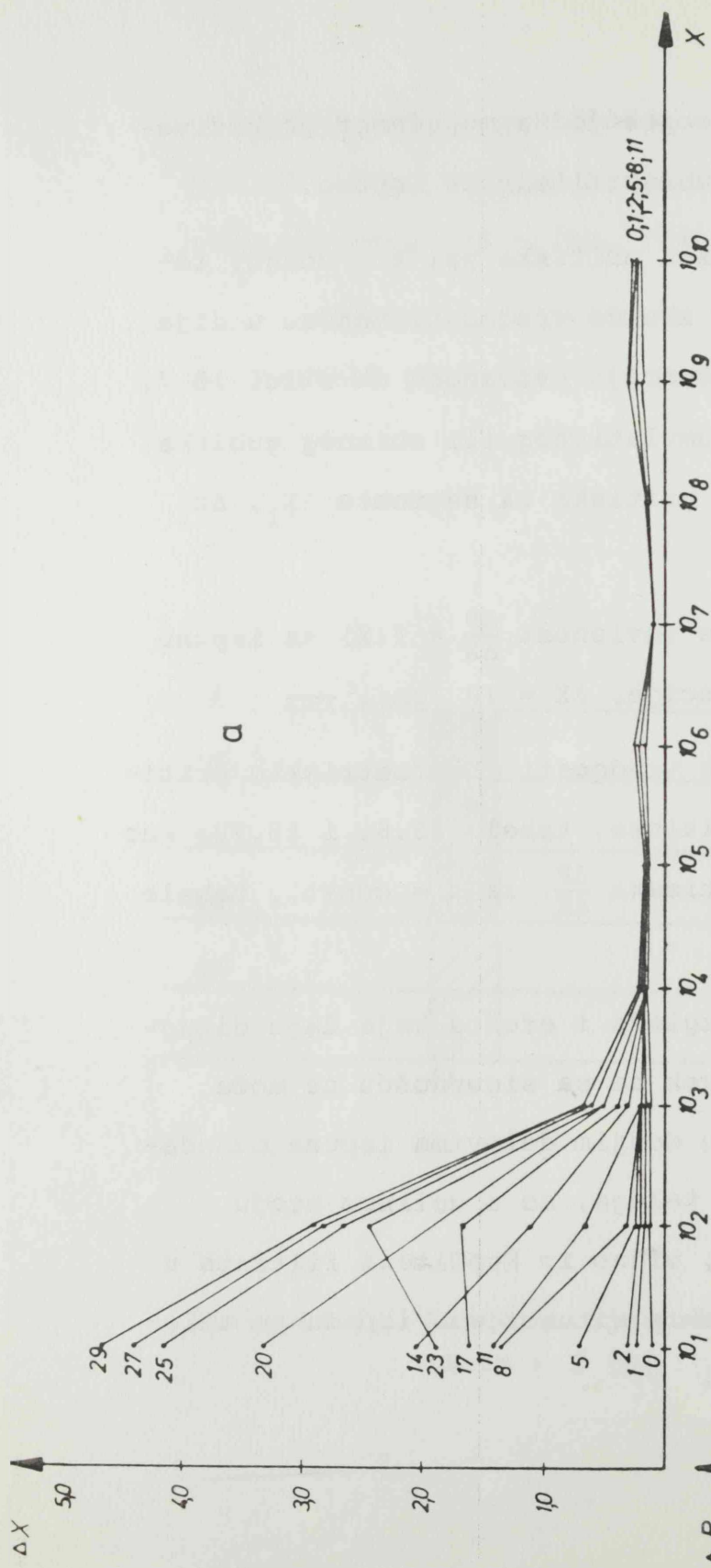
Ovim radom predlaže se još jedna mogućnost prikazivanja distribucije taloga po dubini filtarske ispune.

— Ako se izračunaju gubici pritiska pri $t = \text{const.}$ između susednih piezometara i ako se vrednosti nanesu u dijagram $\frac{\Delta P}{\Delta X_i} = f(X)$ dobija se situacija prikazana na slici 15.7. Za razliku od prikazivanja kumulativnog ili zbirnog gubitka pritiska ovde je dat gubitak pritiska za segmente $\Delta X_1, \Delta X_2$ u istom trenutku.

Na slici 15.7. data je zavisnost $\frac{\Delta P}{\Delta X} = f(X)$ za ispunu (MD - 1) za dve brzine filtracije, $\Delta X = 10 \text{ |cm|}$. —

Tabelarno su prikazane vrednosti piezometričkih pritisaka za navedene filtarske cikluse, tabele 15.6. i 15.7., kao i promene piezometričkih pritisaka $\frac{\Delta P}{\Delta X}$ za $t = \text{const.}$, tabele 15.8. i 15.9.

Uočljiva je razlika izgleda i efekta koje daju dijagrami dati slikom 15.7. Još uvek se sa sigurnošću ne može tvrditi da pojava maksimuma u donjim delovima ispune označava proklizavanje i ispadanje taloga, no u velikom broju slučajeva to je i potvrđeno, vidno iz kvaliteta filtrata u istom trenutku. Medjutim u nekim situacijama ispadanje taloga nije pratilo poremećaj $\frac{\Delta P}{\Delta X}$.





DNEVNIK RADA NA FILTRU - FILTERPLAST

E T M P

Datum:	3.03.1987.	Program:	TD - 1
Poreklo vode:	ČESMA+Fe	Δp_{umax} /am/	94
Vreme početka rada:	5 ³⁰	Trajanje ciklusa:	29
Vreme završetka rada:		Količina taloga: C _S	0,06
Filter opsluživao:		A	

Tabela 15.6.

- Granulacija	MD - 1
- Protok na filtru, l/min.	300
- Brzina filtracije, m/h	5
- Multi otpor	
- Debljina ispune, cm	102, "N"

Porast otpora u odnosu na nulti nivo, cm

Sati rada	Fe mg/l	Na fil	Δp_u	u piezo cevima									
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0,3	33,0	13,4	32,0	30,8	29,7	28,4	27,3	25,6	25,0	23,8	21,5	19,6
1	0	34,7	15,1	32,5	31,2	30,0	28,6	27,4	25,5	25,0	23,8	21,5	19,6
2	0	36,0	16,4	33,1	31,5	30,2	28,8	27,6	25,6	25,1	24,0	21,5	19,6
5	0,07	41,1	21,5	34,2	32,1	30,5	29,0	27,7	25,5	25,1	24,0	21,5	19,6
8	0,1	49,0	29,5	35,4	32,4	30,5	29,0	27,6	25,5	25,1	23,9	21,4	19,5
11	0,07	55,0	35,8	40,9	34,5	32,2	30,5	29,0	27,1	26,2	24,7	21,5	19,2
14	0,07	66,5	47,7	46,1	35,2	32,5	30,6	29,1	27,5	26,3	24,8	21,4	19,1
17	0,07	78,5	59,3	52,6	36,0	32,5	30,7	29,2	27,8	26,3	24,8	21,4	19,2
20	0,07	91,0	71,8	57,2	36,6	32,8	30,7	29,3	27,8	26,3	24,8	21,5	19,2
23	0	101	81,8	62,2	37,8	33,0	30,7	29,2	27,8	26,3	24,8	21,5	19,2
25	0	106,5	87,2	65,0	38,5	33,1	30,8	29,3	27,8	26,4	25,0	21,6	19,3
27	0	111,0	91,5	67,0	39,0	33,1	30,8	29,8	27,8	26,4	25,2	21,6	19,5
29	0	113,0	94	66,5	37,5	31,0	29,0	28,0	27,0	25,0	24,0	21,0	19,0

KRAJ VISINE

Z A K L J U Č C I

1. Osnovna fizičko-hemijska osobina EPS, koja jednoznačno određuje svojstva granule ispune, kao i specifičnost strukture ispune, je gustina EPS.

a) Uticaj gustine EPS na strukturu i osobine sloja ogleda se u:

- Hrapavosti zida kapilare
- Dimenziji vrata horizontalnih kapilara (tj. u prirastu poroznosti $\Delta \epsilon_1$ razvlaženjem ispune)

Kod EPS male gustine, zidovi kanala su visoke hrapavosti za razliku od EPS velike gustine.

Kod EPS male gustine u "N" stanju ispune, prečnik vrata horizontalnih pora je manji nego kod ispuna velike gustine, te su i vrednosti $\Delta \epsilon_1$ manje.

b) Uticaj gustine EPS na hidrodinamiku strujanja kroz sloj ogleda se u povećanju gubitaka pritiska sa porastom gustine EPS. Zbog glatke površine granula velike gustine, dolazi do stešnjenog prislanjanja, što uzrokuje veće gubitke pritiska. Kod granula male gustine, izražena hrapavost površine sprečava stešnjeno prislanjanje.

c) Uticaj gustine EPS na filtraciju (pri deferizaciji), shodno uticaju na hidrodinamiku, ogleda se u skraćenju filtarskih ciklusa sa porastom gustine EPS.

- Zbog tesnog prislanjanja granula EPS velike gustine povećane su hidrodinamičke sile još na samom početku, te one postižu brzo, vrednosti pri kojima dolazi do rušenja i iznošenja taloga

- Kod ispuna velike gustine EPS, sila potiska je manja od ispuna male gustine EPS, te ta činjenica uslovljava mogućnost zadržavanja manjih težina taloga.

2. Pri gravitacionoj filtraciji EPS ispuna se nalazi u "N" stanju, što izaziva promene osnovnih karakteristika sloja u odnosu na "S" stanje i ima za posledicu veliki uticaj na hidrodinamiku strujanja i filtraciju.

Kao osnovna veličina ispune u "N" stanju predlaže se poroznost nesabijene ispune ϵ_N i daje se način proračuna iste. Za određivanje ϵ_N bitan je podatak o vrednosti veličine ΔL . Veličina ΔL zavisi od gustine EPS kao i od koeficijenta uniformnosti ispune. Sa porastom gustine raste ΔL , a time raste i ϵ_N , dok sa porastom K_N opada ΔL .

3. Utvrđena je linearna zavisnost nasipne gustine EPS (ρ_N) od gustine EPS (ρ) i to:

- Za monodisperzne ispune data jednačinom prave

$$\rho_N = 0,64 - 3,83\rho$$

- Za polidisperzne ispune jednačinom prave

$$\rho_N = 0,54 + 2,54\rho$$

Utvrđena zavisnost omogućava određivanje ϵ_S uz merenje težine jedinice zapremine ispune EPS.

4. Uočena je nemonolitnost gustine EPS, naročito kod velikih gustina ispuna, koja se kod monodisperznih ispuna ispoljava kroz prisustvo granula različite gustine, dok se kod polidisperznih ispuna ispoljava u prisustvu frakcija različite gustine.
5. U cilju kvantificiranja prednosti EPS u odnosu na kvarcni pesak pri strujanju tečnosti i filtraciji, kroz ispune istog ekvivalentnog prečnika, došlo se do sledećih podataka:

- Gubici pritiska pri strujanju tečnosti kroz kvarcni pesak su oko tri puta veći u odnosu na EPS, za iste srednje brzine strujanja
- Dužina filtarskog ciklusa je oko tri puta duža na EPS formulacije (E-O). Time je uslovljen tri puta manji broj pranja za EPS u jednakom vremenskom periodu
- (E-O) je za oko deset puta lakši od (P-F) što utiče na ukupne gabarite uređaja

6. Za pripremu EPS za optimalan režim rada i dovodjenje u stanje potpune isklasisiranosti neophodno je izvršiti 40 pranja, po uputstvu datom u radu.

7. Kod analize uticaja ekvivalentnog prečnika i koeficijenta uniformnosti ispune na hidrodinamiku strujanja i filtraciju može se istaći:

- a) Uticaj ekvivalentnog prečnika ispune na filtraciju ogleda se u trendu skraćenja filtarskog ciklusa sa porastom d_E (za posmatrani opseg d_E). No, mora se ukazati na postojanje d_E ispod koje vrednosti se ciklusi završavaju sa iskorišćenjem maksimalne visine, a iznad date, uz proboj taloga (za slučaj deferizacije i $\rho = 37$ $d_E = 1,34$)*
- b) Uticaj K_N na hidrodinamiku i filtraciju kroz sloj EPS je specifičan. Konstatovano je da za dato d_E i ρ , postoji vrednost K_N , pri kojoj su minimalni gubici pritiska, tj. pri kojoj koeficijent A dostiže minimum. Takodje je konstatovano, da postoji optimalna vrednost K_N , za koju se realizuju najduži filtarski ciklusi*.

8. Pri korišćenju EPS kao filtarske ispune neophodno je koristiti EPS što manje gustine. Time se povećava efikasnost filtracije, produžavaju se filtarski ciklusi.

* Zbog malog broja uzoraka, navedene konstatacije treba uzeti kao hipoteze za dalji rad, a ne kao isključive zaključke.

9. Osnovni projektni parametri za rad filtra F-EPS/04 sa ispunom EPS i kvarcnim peskom su:

a) Pri formulaciji polidisperzne ispune EPS sa oznakom (K-1), (za primer deferizacije), postižu se maksimalne dužine filtarskih ciklusa (preko 40 sati, pri sledećim projektnim parametrima:

- Debljina ispune $L = 100-110$ /cm/
- Brzina filtracije $v = 5$ m/h
- Maksimalni gubici pritiska po jedinici debljine ispune $\left(\frac{\Delta P}{L}\right)_{\max} = 0,40$
- Maksimalni pritisak $H_{\max} = 60$ /cm/
- Osnovne karakteristike ispune $\rho = 37$ /kg/m³/, $d_E = 1,34$ /mm/,
 $K_N = 1,75$

b) Pri nepromenjenim radnim uslovima debljine ispune i brzine filtracije, na kvarcnom pesku formulacije (P-F), realizuje se ciklus dužine 9 časova sa:

- Maksimalnim gubicima pritiska po jedinici debljine $\left(\frac{\Delta P}{L}\right)_{\max} = 0,80$
- Maksimalnim pritiskom $H_{\max} = 0,99$ /cm/

10. Daljim usavršavanjem tehnologije ekspandiranja polistirena moguće je doći do formulacija EPS ispuna koje će omogućavati brzine filtracije od $v = 10$ /m/h/, što će značajno povećati kapacitet filtra F-EPS/04, tj. smanjiti potrebni poprečni presek uređaja.

11. Da bi se obezbedilo ekspandiranje EPS zdatog kvaliteta, neophodno je realizovati:

- Rasejavanje granulata polistirena u uže sitove frakcije (u industrijskim uslovima)
- Ekspandiranje uskih ulaznih frakcija polistirena vršiti u uslovima fluidizovanog sloja, kako bi se svakoj granulaciji omogućili isti uslovi razmene toplote i mase. Time bi se, obezbedio EPS ujednačenih veličina granulata i monolitne gustine

- shodno prethodnom, rešiti tehniku zaustavljanja ekspanzije u trenutku, tj. obezbediti maksimalno preciznu regulaciju dužine vremena ekspanziranja. Za neke kvalitete vrednosti vremena se kreću i do nekoliko sekundi.

12. U daljem istraživanju primene EPS u oblasti separacionih operacija od značaja je razviti postupke nanošenja prevlaka različite prirode na površinu EPS granula. Ovim se otvaraju pravci istraživanja novih tipova adsorbenasa kao i daljih istraživanja u oblasti adsorpcije.

13. Ekspanzirani polistiren pokazuje zadovoljavajuća koalescentna svojstva što pruža mogućnost njegove primene u domenu obrade zauljenih otpadnih voda.

N O M E N K L A T U R A

- a - aktivna površina sloja
- a_o - aktivna površina zrna
- A - koeficijent pravca prave $\frac{\Delta P}{L} = f(v)$
- a' - parametar filtracije po Mincu
- A' - konstanta Hamakera
- a_s - aktivna površina sabijenog sloja
- a_{us} - ukupna aktivna površina sabijenog sloja, uključen zid uređjaja
- a_N - aktivna površina nesabijenog sloja
- a_{UN} - ukupna aktivna površina nesabijenog sloja, uključen zid uređjaja
- a_F - dimenzija filtra (poprečni presek kvadrat)
- ΔA - prirast koeficijenta A
- B - koeficijent
- b - parametar filtracije po Mincu
- B_i - broj bočnog mesta uzorkovanja filtrata
- C_o - koncentracija ulazne suspenzije
- C - koncentracija suspenzije na nekoj dubini ispune
- C_i - koncentracija filtrata
- d_{EK} - ekvivalentni prečnik pore, kanala
- d_E - ekvivalentni prečnik sloja
- d - veličina zrna ispune
- d_i - sitova frakcija
- d_{80} - veličina frakcije zastupljene sa 80% u ispuni
- d_{10} - veličina frakcije zastupljene sa 10% u ispuni
- D_{AP} - prečnik aparata
- EPS - ekspanzirani polistiren
- (E-I) - eksperimentalne formulacije ispune EPS
- (E) - oznaka eksperimentalnog uređjaja $a_F = 60$ /mm/
- fe_E - koeficijent hidrauličkog otpora poroznog sloja
- $F(A')$ - koeficijent pravca prave $\Delta P = f(t)$
- (F-EPS/04) - filter sa ispunom EPS date konstrukcije

FT	- telo filtra
FN	- nadgradnja filtra
h'	- rastojanje izmedju piezometara
H	- prirast pritiska na kraju filtarskog ciklusa
H_0	- početni pritisak nad filtarskom ispuncom
h	- visina stuba vode
Δh_s	- prirast pada pritiska
h_0	- visina vodenog stuba iznad filtra za pranje filt.
H_{SL}	- visina granulisanog sloja
i	- hidraulički nagib u datom trenutku
i_0	- hidraulički nagib na početku filtarskog ciklusa
IP	- priključak za ubacivanje ispune
K_0	- koeficijent
K_{KK}	- Carman-Kozeny konstanta
k'	- specifična permeabilnost
K_i	- merilo hidrauličkog otpora u inercionoj oblasti strujanja tečnosti
K_F	- koeficijent filtracije
K_P	- permeabilnost
K'	- koeficijent
K	- konstanta
k_N	- koeficijent uniformnosti
(K-I)	- ispune koje predstavljaju komercijalne proizvode INA-OKI Zagreb
(KL-I)	- karakterizaciona lista
k	- koeficijent korelacije jednačine prave
ΔK_F	- prirast koeficijenta filtracije
ΔK_P	- prirast permeabilnosti
ΔK_{KK}	- prirast Carman-Kozeny konstante
L	- debljina sloja
L_N	- debljina nesabijene isklisirane ispune
L_s	- debljina sabijene isklisirane ispune
L_{1n}	- debljina sloja bez sabijanja posle n pranja
L_{2n}	- debljina sloja posle sabijanja posle n pranja
ΔL	- promena debljine sloja sabijanjem

(ML)	- monolitna ispuna
(M)	- oznaka eksperimentalnog uređaja sa $a_F = 200$ /mm/
(MD-I)	- monodisperzne ispune EPS
"N"	- ispuna u nesabijenom stanju
(NML)	- nemonolitna ispuna
\bar{n}	- srednji broj čestica
n	- specifična zapremina taloga u porama
n_o	- poroznost ispune
P_i	- pritisak u datoj tački tečnosti
ΔP	- pad pritiska
PP	- prelivna posuda
PC	- piezometri
$(\frac{\Delta P}{L})_{max}$	- maksimalni pad pritiska po jedinici debljine
Q	- zapreminski protok tečnosti
Re_E	- kriterijum Re za porozan sloj, ekvivalentni Re
RM	- razdelna mrežica
R	- rezervoar za modelni rastvor
R_D	- radijus delovanja
S	- poprečni presek uređaja
(S)	- segmentni filter
SEM metoda	- Scanning Microscope
S_i	- broj segmenta filtra (S)
"S"	- ispuna u sabijenom stanju
T	- tortuoznost
t	- vreme
t_z	- zaštitno vreme filtra
tH_o	- vreme dostizanja maksimalnog pritiska (visine)
T'	- kriterijum sličnosti po teoriji Minc-a
(TD-1)	- tehnologija deferizacije slobodnim padom tečnosti
(TD-2)	- tehnologija deferizacije komprimovanim vazduhom
(T)	- oznaka eksperimentalnog uređaja
v_E	- srednja brzina strujanja tečnosti u pori
v	- srednja brzina strujanja tečnosti po poprečnom preseku uređaja sa nasutim slojem

ΔV	- prirast zapremine ispune pranjem
$V_{\epsilon S}$	- zapremina pora sabijene ispune
$V_{\epsilon N}$	- zapremina pora nesabijene ispune
V_1	- ventil za pranje i ispuštanje ispune
V_2	- ventil za čišćenje dna filtra
V	- zapremina ispune
X°	- bezdimenziona promenljiva po teoriji Minca
X'	- kriterijum slučnosti po teoriji Minca
X'_0	- konstanta
x, X	- debljina nasutog sloja
y	- odnos C/C_0
α	- koeficijent koji opisuje interakciju fizičko-hemijskih svojstava vode i taloga
β	- koeficijent koji opisuje interakciju fizičko-hemijskih svojstava vode i taloga
ϵ'	- poroznost sloja
ϵ_1	- eksponent
ϵ_2	- eksponent
ϵ_N	- poroznost nesabijene ispune
ϵ_S	- poroznost sabijene ispune
$\Delta\epsilon_2$	- prirast poroznosti klasiranjem
$\Delta\epsilon_1$	- prirast poroznosti razvlačenjem ispune
ϵ	- poroznost homogenizovane EPS ispune
ϕ	- koeficijent oblika zrna
Φ	- srednja zasićenost ispune talogom
ν	- kinematski viskozitet tečnosti
μ	- dinamički viskozitet tečnosti
ρ'	- gustina tečnosti
ρ	- gustina EPS
ρ_N	- nasipna gustina EPS
ρ	- gustina taloga u porama ispune
Λ_1, Λ_2	- eksponent
ζ	- koeficijent uticaja nejednorodnosti ispune

- τ - vreme
- ω_0 - ugao koji definiše orijentisanost pore
- aktivna površina sloja
- ω - aktivna površina sloja koja učestvuje u procesu
privlačenja taloga
- ω_i - zapreminski % frakcije di

L I T E R A T U R A

1. Abramov N.N.,
Vodosnabženije Strojzdat 1982.
2. Adin A.,
Filtration and Separation Jan./Febr.,1978.
3. Adin A., Rebhun M.,
Chemical Engineering Science, Vol.42.,No.5.,1987.
4. Aerov M., Makeeva N., Koltunova L.,
Plenum Publishing Corporation, 1979.
5. Aerov M., Nikitina N., Traynina S.,
Him. Prom., No.3.,1960.
6. Aerov M., Umnik N.,
Ž P H , No.10., 1950.
7. Aerov M., Todes O., Marinskij D.,
Apparaty so Stacionarnym Zerniststym Slojem, Himija 1979.
8. Aerov M., Umnik N.,
Ž P H , No.6.,1955.
9. Aerov M.E., Todes O.M.,
Gidravličeskije i Teploviije Osnovi Raboti Apparatov so
Stacionarnim i Kipjašim Zernistim Slojem "Himija"
Lenjingrad, 1968.
10. Ajukajev R.I., Meljcer V.Z., Venicianov E.V.,
Jevtifejev J.P.,
Himija i Tehnologija Vody T3.,No.3.,1981.
11. Ajukajev R.I., Jevtifejev J.P., Zborovskij M.M.,
Himija i Tehnologija Vody, T.6.,No.5.,1984.
12. Akimova ., Žurba M., Usyrov O.,
Ž P H ,No.11.,1972.
13. Aljtovski M.E.,
Hidrogeološki Priručnik "Gradjevinska knjiga"
Beograd, 1973.
14. ASTM D 4187 - 82.
15. ASTM D 4188 - 82.

16. ASTM F 569
17. Azzan M., Dullien F.,
Ind.Eng.Chem.Fundam.,Vol.15.,No.4.,1976.
18. Babenkov E.O.,
Himija i Tehnologija Vody T4.,No.2.,1982.
19. Babenkov E.O.,
Himija i Tehnologija Vody T4.,No.1.,1982.
20. Babenkov E.O.,
Ž P H ,No.10.,1975.
21. Baryšnjikova T.I., Mitin B.A.,
Južnouraljskoje Knjižnoje Izdateljstvo, 1965.
22. Bernhardt H., Schell H.,
4th World Filtration Congress, Belgium, 1986.
23. Botuk B., Zavaloka K., Šabratko V.,
Vodosnabženie, Kanalizacija i Očistka Stočnih Vod
"BUDIVELNIK", Kijev, 1977.
24. Bočkarev G.P., Filippov J.M.,
Ž P H ,No.2.,1969.
25. Brierley I.O.,
J.Assoc.Publ.Analysis 18, 105, 108.,1980.
26. Bruk - Levinson
Vodosnabženie i Sanitarnaja Tehnika, No.11.,1981.
27. Chi Tien, Turian R.M., Penose H.,
AIChE Journal, Vol.25.,No.3.,1979.
28. Chi Tien, Payatakes A.C.,
AIChE Journal, Vol.25.,No.5.,1979.
29. Chi Tien, Turian R.M., Penose H.,
AIChE Journal, Vol.25.,No.3.,1979.
30. Cintre M., Dodds J., Leclerc D.,
4th World Filtration Congress, Belgium, 1986.
31. Clarke J.W., Kimber G.M., Rantell D.,
CEP.Dec.,1981.
32. Clough G., Ives K.J.,
4th World Filtration Congress, Belgium, 1986.
33. Coccagna L., Horlock K.,
5th World Congress on Water Resources, Brussels, June,
1985.

34. Coccagna L.,
3rd Mediterranean Congress on Chemical Engineering,
Barcelona, 1984.
35. Craig Keith
J.Awwa, December 1985.
36. Culligan Report:
Filtration and Ofsy System, 1985.
37. Cvijović S., Mitrović M.,
GHDB - 507.,43(6) - 345 - 351 (1978)
38. Dahab M.F., Young J.C., Asce M.,
Journal of the Environmental Engineering Division,
Februaru, 1977.
39. Deb A.K., Asce M.,
J.Sanitary Engineering Division, June, 1969.
40. Degremont
Tehnika prečiščavanja voda "Gradjevinska knjiga",
Beograd, 1976.
41. Deiber J.A., Schowalter W.R.,
J.AICHe Vol.27.,No.6.,1981.
42. De Rijke J.M., Vantilburg J.P.J., Scarlet B.,
Wesselingh J.A.,
4th World Filtration Congress, Belgium, 1986.
43. Dullien F., Azzam M.,
AICHe,J.Vol.19.,No.2.,1973.
44. Dullien F.,
AICHe J.Vol.21.,No.2.,1975.
45. Dullien F.,
The Chemical Engineering Journal,10.,1 - 34.,1975.
46. Dullien F., Mehta P.,
Powder Technology 5.,1971/72.
47. Dullien F., Dhawan G.,
Powder Technology 7(1973) 305 - 313.
48. Edwards D.M., Monke E.J.,
J.Awwa, Oct.,1967.
49. Eliassen R.,
J.Awwa, Vol.33.,No.5.,1964.
50. Ettinger I.L., Župahina E.S.,
Fizičeskije Metody Issledovanija, No.4.,1959.

51. Fair M.G.,
Review of Current Investigation, No.7.,1969.
52. Fedorovskij A.,
Optičeskije Metody v Gidromehanike, "Naukova Dumka", 1980.
53. Fischer E., Raasch J.,
4th World Filtration Congress, Belgium, 1986.
54. Fominyh A.M.,
Ž P H ,No.6.,1980.
55. Fominyh A.M.,
Ž P H ,No.1.,1984.
56. Fominyh A.M.,
Ž P H ,No.5.,1980.
57. Fominyh A.M.,
iz.vuz., "Stroiteljstvo i Arhitektura", No.1.,1977.
58. Fominyh A.M.,
iz.vuz., "Stroiteljstvo i Arhitektura", No.10.,1976.
59. Fox D.M., Asce A.M., Cleasby J.L.,
Journal of the Sanitary Engineering Division,
October, 1966.
60. Gerritsen D.J.,
4th World Filtration Congress, Belgium, 1986.
61. Gondar V.V., Ponomarev M.I., Grebenuk V.D.,
Himija i Tehnologija Vody T8.,No.4.,1986.
62. Gost
5181 - 78., Grupa Ž39.
63. Gost
2409 - 80., Grupa I29.
64. Gorškov V.,
"Nedra", Moskva, 1981.
65. Gould M.H., Little J.,
4th World Filtration Congress, Belgium, 1986.
66. Grabovskij P.A., Larkina G.M.,
Himija i Tehnologija Vody, T.6.,No.6.,1984.
67. Grabovskij P.A., Larkina G.M.,
Himija i Tehnologija Vody, T4.,No.1.,1982.
68. Grabovskij P.A., Larkina G.M., Prožegurin I.L., Turev V.,
Himija i Tehnologija Vody, T7.,No.1.,1985.

69. Grabovskij P.A.
Himija i Tehnologija Vody, T7.,No.2.,1985.
70. Greenkorn R.A.,
AIChE J.,Vol.27.,No.4.,July, 1981.
71. Grochulska - Segal E.N., Sozanski M.M.,
4th World Filtration Congress, Belgium, 1986.
72. Gunasingham K., Lekkas T.D., Fox G.T.J.,
Filtration and Separation, Novem./Decem.,1979.
73. Gupta V.S., Bhattacharyya, Dutta B.K.,
J.Awwa, January, 1975.
74. Habirov R.S., Kommunar G.M., Kogan J.A., Slavinskij A.S.,
Kravcova N.V.,
Himija i Tehnologija Vody, T5.,No.5.,1983.
75. Harriot G.M., Saville D.A.,
J.AIChE, Vol.26.,No.3.,1980.
76. Hauslein R.H., Sikins R.H.,
CEP, January, 1979.
77. Hilton J., Whitehall K.V.,
Effluent and Water Treatment J., Jan.,1979.
78. Hong I.T.,
Filtration and Separation, July/August 1985.
79. Horner R.M.W., Jarvis R.J., Mackie R.I.,
Wat.Res.,Vol.20.,No.2.,1986.
80. HSU E., Fan L.T.,
Filtration and Separation, July/August 1980.
81. HSU E.H., Fan L.T.,
AIChE J.,Vol.30.,No.2.,March 1984.
82. Hudson D.R.,
Journal of Applied Physics, Volume 20., 1949.
83. Ignatov P.D.,
Avtoreferat, Sofija, 1984.
84. Išlinskij A.J., Černyj G.G.,
"Mir", Moskva, 1985.
85. Ives K.,
THE CEBEDEAU, No.44., Belgique, 1980.

86. Ives K.,
Journ., I.W.E., P.13 - 20., 1971.
87. Ives K.,
Vienna Congress, Special Report, No.7., I.W.S.A., 1969.
88. Ives K.,
Water Research Pergamon Press, Vol.4., 1970.
89. Ives K., Gregory J.,
Proc.Soc.Wat.Treatment Exam., 15., 2:93., 1966.
90. Jaisinghani R.A., Sprenger G.S.,
Filtration and Separation, March/April, 1981.
91. Jakimčuk B., Žurba M., Prihodko V., Ševčiuk B.,
Himija i Tehnologija Vody, T7., No.1., 1985.
92. Jaroševskaja N.V., Vinarskaja M.D., Kuljskij L.A.,
Himija i Tehnologija Vody, No.4., T8., 1986.
93. Jaroševskaja N.V., Kuljskij L.A.,
Himija i Tehnologija Vody, T7., No.2., 1985.
94. Jaroševskaja N.V., Komarova E.A., Kuljskij L.A.,
Himija i Tehnologija Vody, T5., No.6. 1983.
95. Jaroševskaja N.V., Kuljskij L.A.,
Himija i Tehnologija Vody, T7., No.4., 1985.
96. Jaroševskaja N.V.,
Ž P H , No.5., 1986.
97. Jaroševskaja N.V., Kuljskij L.A.,
Himija i Tehnologija Vody, T7., No.5., 1985.
98. Jaroševskaja N.V., Nakorčevskaja V.F.,
Ž P H , No.5., 1981.
99. Jaroševskaja N.V., Nakorčevskaja V.F.,
Ž P H , No.1., 1979.
100. Jaroševskaja N.V., Kuljskij L.A.,
Himija i Tehnologija Vody, T5., No.5., 1983.
101. Jaroševskaja N.V., Vinarskaja M.D., Švidenko O.G.,
Kuljskij L.A.,
Himija i Tehnologija Vody, T8., No.3., 1986.

102. Jaroslavskij Z. ., Kutuzov V.S., Lavrov I.S.,
Smirnov O.V.,
Ž P H ,No.2.,1980.
103. Jarceva R.D., Senjavin M.M.,
Ž P H ,No.7.,1975.
104. Jordan R.M.,
J.Awwa, June, 1963.
105. Juhasz C.,
Filtration and Separation, Jan./Febr.,1983.

106. Kašincev V.K.,
Vodosnabženjije i sanit.tehnika, No.2., 1981.
107. Kišinevskij M.H., Kornienko T.S., Lejkin M.A.,
Ž P H ,No.10.,1986.
108. Koganovskij A.M., Topkin J.V.,
Himija i Tehnologija Vody, No.5.,T2.,1980.
109. Kočmarovskij V.Z., Sanouljak A.V., Kostenko V.M.,
Himija i Tehnologija Vody, T4.,No.1.,1982.
110. Kočmarovskij V.Z., Demčik I.I.,
Himija i Tehnologija Vody, T7.,No.2.,1986.
111. Kočmarovskij V.Z., Demčik I.I.,
Himija i Tehnologija Vody, T7.,No.4.,1985.
112. Komarova E.A., Nakorčevskaja V.F., Kuljskij L.A.,
Himija i Tehnologija Vody, T4.,No.3.,1982.
113. Kornilov K.M.,
Ž P H ,No.4.,1980.
114. Kravcov M.V.,
"Nauka i Tehnika", Minsk, 1980.
115. Kuljskij L.A., Jaroševskaja N.V.,
Himija i Tehnologija Vody, T6.,No.2.,1984.
116. Kuljskij L.A.,
Teoretičeskiye Osnovy i Tehnologija Kondicionirovanija
Vody, "Naukova Dumka", Kijev, 1971.
117. Lakštanov L.Z., Kopylov P.N.,
Himija i Tehnologija Vody, T7.,No.4.,1985.
118. Lekkas T.D., Willson I.R., Gunasingham K.,
Effluent and Water Treatment Journal, November 1978.
119. Lekkas T.D.,
Filtration and Separation, May/June, 1981.
120. Lekkas T.D.,
Filtration and Separation, Jan./Febr.,1982.
121. Loganathan P., Maier W.J.,
J.Awwa, June, 1975.

122. Logsdon G.S., Thurman C.V., Frindt E.S., Stoecker J.G.,
Journal Awwa, February, 1985.
123. Lukinyh N.A., Lipman B.L., Krištul V.P.,
Strojizdag, Moskva, 1978.
124. Lunjev V.D.,
Ž P H ,No.1.,1980.
125. Lunjev V.D.,
Ž P H ,No.6.,1983.
126. Lunjev V.D.,
Ž P H ,No.11.,1978.
127. MacDonald I., El-Sayed M., Mowk, Dullien F.,
Ind.Eng.Chem.Fundam.,Vol.18.,No.3.,1979.
128. Martensen V.N., Ajukajev R.I., Šandalov S.M.,
Strelkov A.K.,
Vodosnabženie i San.Tehnika 1.,12.,6-7.,1971.
127. Maron V.I., Pinskaja G.I.,
Himija i Tehnologija Vody, T5.,No.4.,1983.
128. Matsumoto M.R., Galeziewski T.M., Tchobanoglous G.,
Ross D.S.,
J.W.P.C.F.,Vol.54.,No.12.,1982.
129. Marshall T.J.,
Nature, September 28.,Vol.180.,1957.
130. Meljcer V.Z., Ajukajev R.I.,
Vodosnabženie i San.Tehnika, 10.,1983.
131. Martensen V.N.,
Stroiteljstvo i Arhitektura, Novosibirsk, 1966.
132. Mietton M., Peuchot C.,
4th World Filtration Congress, Belgium, 1986.
133. Miller S., Fuhrmetster C.H.,
Chemical Engineering, October 1951.
134. Minc D.M., Krištul V.P.,
Ž P H , 33.,2.,304.,1960.
135. Minc D.M.,
Teoretičeskie Osnovy Tehnologii Očistki Vody, Moskva,1966.
136. Minc D.M.,
DAN SSSR, Tom LXXVIII, No.2.,1951.

137. Minc D.M., Kastaljskij A.A.,
Podgotovka Vody Dlja Pitevogo i Promišljenogo Vodosnabženia
Moskva "Višaja Škola", 1984.
138. Minc D.M., Paskuckaja L.N., Černova Z.V.,
Ž P H ,No.8.,1967.
139. Mitrović M., Cvijović S., Grbavčić Ž.,
GHDB - 506.,43(6) - 337 - 344.,1978.
140. Mjagkij D.D., Moroz S.I., Pančenko P.I., Plehanov I.I.,
Džunović N.S.,
Vodosnabženie i San.Tehnika, No.1.,1972.
141. Monk R.,
Journal Awwa, August, 1984.
142. Monk R.D.G.,
J.Awwa, Augsut, 1981.
143. Moško V.G.,
Himija i Tehnologija Vody, T8.,No.3.,1986.
144. Morris H.,
Control Engineering, July 1980.
145. Moraru V.N., Ovčarenko F.D., Jaremko E.M., Moraru L.E.,
Kolloidnyj Žurnal, No.5.,1980.
146. Moui D., Lenormand R.,
4th World Filtration Congress, Belgium, 1986.
147. Nazarov B., Fazullina E.,
Himija i Tehnologija Vody, T7.,No.1.,1985.
148. Norris D., Parker D.,
J.W.P.F.,Vol.54.,No.7.,1982.
149. Ogedengbe O.,
Filtration and Separation, Sept./Oct.,1984.
150. O'Melia Ch., Crapps D.K.,
J.Awwa, Oct.,1964.
151. O'Melia Ch., Stumm W.,
J.Awwa, 59(11), 1393.,1967.
152. Orlov V.O.,
Himija i Tehnologija Vody, T4.,No.2.,1982.
153. Orlov V.O., Borisov B.M.,
Vodosnabženie i San.Tehnika, No.2.,1983.
154. Ovčinnikov G.A., Alješič N.K., Goronovskij I.I.,
Kruglickij M.M.,
Himija i Tehnologija Vody, T6.,No.6.,1984.

155. Panasevič A.A., Maksimova V.P., Neminskaja N.A., Tarasevič J.I.,
Himija i Tehnologija Vody, T8.,No.3.,1986.
156. Papin V.M., Čan Din Haj,
"Nauka i Tehnika o Gradskom Hazjajstve", 1977.
157. Ponomarenko V.G., Černikov V.A., Grankina T.M.,
Ž P H ,No.8.,1985.
158. Qureshi N.,
Journal Awwa, September, 1981.
159. Rabin A.I.,
Ž P H ,No.10.,1971.
160. Rabin A.I.,
Ž P H ,No.8.,1974.
161. Raistrick J.H.,
Filtration and Separation, March/April 1983.
162. Raistrick J.H.,
4th World Filtration Congress, Belgium, 1986.
163. Rajagopalan L., Chi Tien,
AIChE Journal, Vol.22.,No.3.,1976.
164. Rimer A.E., Asce A.M.,
Journal of the Sanitary Engineering Division, June, 1968
165. Riddick T.M.,
J.Awwa, Aug.,1961.
166. Roblee L.H.S., Baird R.M., Tierney J.W.,
J.AIChE, December, 1958.
167. Roždestvenskij O.I., Kadžaja Z.Š., Martjan V.A.,
Perceva L.J.,
Ž P H ,No.7.,1980.
168. Rudenko A.G., Goronovskij I.I.,
Himija i Tehnologija Vody, T5.,No.3.,1983.
169. Rudenko A.G., Goronovskij I.I.,
Himija i Tehnologija Vody, T6.,No.6.,1984.
170. Rudzskij G.G., Kim A.N.,
Himija i Tehnologija Vody, T5.,No.1.,1983.
171. Rudenko G.G., Tarasevič J.F., Kravčenko V.A.,
Sidorovič A.G.,
Himija i Tehnologija Vody, T5.,No.1.,1983.

172. Rudenko A.G., Bogoljubov N.V., Paškevič V.P.,
Goronovskij I.I.,
Himija i Tehnologija Vody, T4.,No.2.,1982.
173. Rudenko A.G., Goronovskij I.I.,
Himija i Tehnologija Vody, T4.,No.6.,1982.
174. Saatci A.M., Oulman C.S.,
J.Awwa, September, 1980.
175. Safonov N., Elisaeev M., Irijmak N.,
Vodosnabženie i Očistka Stočnyh Vod
176. Schell H.,
4th World Filtration Congress, Ostend, Belgium, 1986.
177. Sinev O., Rossinskij N.P.,
Him.Volokna, 19.,4.,1977.
178. Sivak V.M., Januševskij N.E.,
Ljvov "Viša Škola", 1984.
179. Skvorcov N.G., Kolosova G.M.,
Himija i Tehnologija Vody, T4.,No.5.,1982.
180. Smith C.V., Asce M.,
Sanitary Engineering Division, October, 1967.
181. Song Ki-No, Young J.C.,
J.W.P.C.F.,Vol.58.,No.2.,1980.
182. Stanek V., Szekely J.,
AIChE Journal, Vol.20.,No.5.,1974.
183. Stankevičius V.I.,
Ž P H ,No.2.,1969.
184. Stanek V., Szekely J.,
The Canadian Journal of Chemical Engineering,Vol.51.,
2.,1973.
185. Stanek V., Szekely J.,
The Canadian Journal of Chemical Engineering, Vol.50.,
2.,1972.
186. Sterman L.S., Pokrovskij V.M.,
"Energija", Moskva, 1981.
187. Sullivan R.R., Hertel K.L.,
Journal of Applied Physics, Vol., 1.,December, 1940.
188. Ševčuk B., Prihodko V., Žurba M.,
Himija i Tehnologija Vody, T3.,No.1.,1981.

189. Scheidegger A.E.,
Gosudarstvennoe Izdat., Moskva, 1960.
190. Šećerov - Sokolović R., Mitrović M.,
II Jug.kongres za hem.inž.i proc.teh., Dubrovnik, 1987.
191. Šećerov - Sokolović R., Mitrović M.,
CHISSA 87., Praha, 1987.
192. Šećerov - Sokolović R., Mitrović M.,
4th Mediteran Cong.on Chem.Engineer., Barcelona, 1987.
193. Širinskij A.M., Pljuškin S.A., Brener A.M.,
Teoretičeskie Osnovy Himičeskoj Tehnologii, No.2.,1981.
194. Širšina L.G., Švarc Z., Taybert D.,
Ž P H ,No.8.,1985.
195. Tare V.,
4th World Filtration Congress, Belgium, 1986.
196. Tare V.,
4th World Filtration Congress, Belgium, 1986.
197. Tchobanoglous G.,
J.W.P.C.F.,Vol.42.,No.4.,1970.
198. Tchobanoglous G.,
Waste Water Engineering Treatment, McGraw-Hill Book
Company, New York, 1979.
199. Tertyšij A.M., Sorokin A.D., Tkač A.A., Goronovskij I.I.,
Himija i Tehnologija Vody, T3.,No.3.,1981.
200. Tiller F.M.,
Chemical Engineering Progress, June, 1955.
201. Tiller F.M.,
Chemical Engineering Progress, Vol.49.,No.9.,Sept.1953.
202. Tien C.,
4th World Filtration Congress, Belgium, 1986.
203. Todes O.M., Citovič O.B.,
Lenjingrad "Himija", 1981.
204. Trussell R.R., Trussell A.R., Lang T.S., Tate C.H.,
J.Awwa, December, 1980.
205. Turner G.A.,
Chemical Engineering Science, Vol.7.,1958.
206. Žurba M.,
Filstry s Plavajušej Zagruskoj Dlja Seljhozvodospabženia
Moskva, "Kolos", 1978.

207. Žurba M.,
"Očistka Vody na Zernistyh Filjtrah"
Ljvov, Viša škola, 1980.
208. Žurba M.,
Vodosnabženie i San.Tehnika, No.5.,1975.
209. Žurba M.,
Vodosnabženie i San.Tehnika, No.8.,1971.
210. Žurba M.,
Avtoreferat Dissertacii na Soiskaniy Učenoj Stepeni
Kandidata Tehničeskikh Nauk, Novočerkassk, 1970.
211. Žurba M., Moško V.,
"Perspektivi Metody Očistki Prirod. i Prom.Vod",
Kvijbišev, 43 - 52(6I367) 1981.
212. Žurba M.,
Gidromelioracija i Hidrotehničkoje Stroiteljstvo, Vyp.6.,1978.
213. Žurba M.,
Vodnyje Resursy, No.1 - 6.,1976.
214. Žurba M.,
Himija i Tehnologijy Vody, T8.,No.3.,1986.
215. Žurba M.,
Vodosnabženie i Kanalizacia, Vypam, 1976.
216. Žurba M.,
Izv.Vuzov "Stroiteljstvo i Arhitektura, No.3.,1970.
217. Žurba M., Akimova A.,
Izv.Vuzov "Stroiteljstvo i Arhitektura", No.6.,1970.
218. Žužikov V.A.,
Filtrovanie "Himija", Moskva, 1980.
219. Žužikov V.,
Filtrovanie "Himija", Moskva, 1980.
220. Zimmels Y.,
4th World Filtration Congress, Belgium, 1986.
221. Van Dijk J.C., Van Wijk H.R., Hundhra S.D.,
4th World Filtration Congress, Belgium, 1986.
222. Vejcer J.I., Kolobova Z.A., Safonova G.M.,
Vodosnabženie, Akh.Im.Pamfilova, Vipusk 97.,
Moskva, 1974.
223. Vigneswaran S., Ben Aim R.,
J.AIChE, Vol.31.,No.2.,1985.

224. Vladyčenko G.P., Grabovskij P.A., Larkina G.M.,
Tjurev V.F.,
Himija i Tehnologija Vody, T3.,No.3.,1981.
225. Venkatadri R., Klinzing G.E., Chiang S.H.,
4th World Filtration Congress, Belgium, 1986.
226. Veselyj A., Vinnikov V.,
Prom.Energ.,37.,11.,15 - 16., (1981)
227. Volgin V.D., Krivobok S.M., Sinjak J.E.,
Himija i Tehnologija Vody, T8.,No.3.,1986.
228. Yao Kuan - Mu, Habibian M.T., O'Melia Ch.R.,
Enviromental Science and Technology, Vol.5.,No.11.,1971.
229. Young C.J.,
Journal W.P.C.F.,Vol.57.,No.1.,1985.
230. Weber R., Boysan F., Ayers W.H., Swithenbank J.,
J.AICHe, Vol.30.,No.3.,1984.
231. Wishart A.J., Gregory J.,
Filtration and Separation, May/June, 1981.

