

nim kriterijima kvalitete, ako je poznat udio škarta s , iznosi: $p = 1 - (1 - s)^n$.

Instrumenti za mjerenja. Za ispitivanje građevnih konstrukcija potrebna su mjerenja slijedećih veličina: sile, tlaka, pomaka, kuta, deformacije, temperature, a za dinamička ispitivanja još i brzine, akceleracije, periode i prigušenja. Sve se više mjerni instrumenti konstruiraju tako da se mehaničke veličine odmah pretvaraju u električne, što omogućuje obradbu podataka na elektroničkim računalima. Za dinamička ispitivanja na vibroplatformama upotrebljavaju se i kompjuterski upravljani sustavi. Instrumenti su prikazani u člancima *Aerotunel*, TE1, str. 39, *Brane, osmatranje*, TE2, str. 133, *Dalekovodi*, TE3, str. 153, *Digitalna računala*, TE3, str. 318, *Električna mjerenja*, TE3, str. 601--661.

Ispitivanje građevnih konstrukcija u Jugoslaviji. Način ispitivanja armiranobetonskih konstrukcija propisan je Pravilnikom o tehničkim mjerama za beton i armirani beton (1971), a prednapregnutih betonskih konstrukcija Pravilnikom o tehničkim mjerama za prednapregnuti beton (1971). Obvezna su kontrolna pokusna opterećenja svih mostova s rasponom većim od 15 m, kranskih staza, sportskih građevina, kazališta, kina, brana i elemenata brana, hangara, dalekovodnih stupova, međukatnih konstrukcija sustava koji se prvi put primjenjuju, specifičnih i osobito složenih građevina, građevina koje su izvedene novim tehnološkim postupcima i građevina za koje projekt predviđa obvezno pokusno opterećenje.

Način ispitivanja čeličnih konstrukcija propisan je Tehničkim propisima za pregled i ispitivanje nosivih čeličnih konstrukcija (1965). Obvezna su kontrolna pokusna opterećenja mostova, kranova i kranskih staza, tlačnih cjevovoda, dalekovodnih stupova, a pokusna opterećenja zgrada samo u posebnim slučajevima.

D. Aničić

LIT.: *K. Fink, Ch. Rohrbach*, Handbuch der Spannungs- und Dehnungsmessung. VDI-Verlag, Düsseldorf 1958. — *R. L'Hermite*, Methodes générales d'essai et de contrôle en laboratoire. Edition Eyrolles, Paris 1959. — Sigurnost konstrukcija. Građevinska knjiga, Beograd 1963. — *H. E. Davis, C. E. Troxell, C. T. Wiskocil*, The testing and inspection of engineering materials. McGraw-Hill Book Company, New York 1964. — Справочник по строительным материалам и изделиям. Будвелник, Киев 1966. — *P. Vasić, M. Arsenijević*, Ispitivanje materijala. Naučna knjiga, Beograd 1966. — *V. Tufegđić*, Građevinski materijali — poznavanje i ispitivanje. Naučna knjiga, Beograd 1966. — *T. Javor, L. Borovička*, Nové metody v navrhování a v stavbě mostov. Slov. Vydavatelstvo Technickéj Literatury, Bratislava 1967. — *E. Pohl*, Zerstörungsfreie Prüf- und Messmethoden für Beton. VEB Verlag für Bauwesen, Berlin 1969. — *S. Balan, M. Arcan*, Essai des Constructions. Meridiane Bucarest — Eyrolles Paris 1972. — *S. Ferušić*, Radio-grafske metode u ispitivanju građevinskih materijala i zavarenih spojeva u konstrukcijama. Grad. fakultet, Sarajevo 1972. — *K. Wesche*, Baustoffe für tragende Bauteile, I—IV. Bauverlag GMBH, Wiesbaden und Berlin 1973—1975. — *V. Tufegđić*, Građevinski materijali — ponašanje materijala u različitim sredinama. Naučna knjiga, Beograd, 1975. — Katalog jugoslavenskih standarda. Beogradski izdavačko-grafički zavod, Beograd 1975.

D. Aničić Z. Kostrenčić

ISPREŠAVANJE, izdvajanje kapljevina iz materijala u kojima se one nalaze u šuplinama, porama ili kapilarama čvrste tvari, mehaničkim sredstvima (obično tlačanjem unutar kućišta sa stijenkama otpornim prema tlaku, najčešće krutim, ali propusnim za kapljevinu). Zbog toga se ponekad, naročito u anglosaskim zemljama, o isprešavanju govori kao o *mehaničkoj ekstrakciji*.

Odvajanje kapljevine od čvrste tvari kroz propusne stijenke čini isprešavanje do stanovite mjere sličnim filtriranjem (v. *Filtracija*, TE5, str. 398). Čak se o isprešanoj kapljevini ponekad govori kao o filtratu, a o čvrstom ostatku kao o kolaču (pogači). Međutim, te se dvije operacije razlikuju ne samo time što se filtriranje odvija pod utjecajem hidrauličkog tlaka u materijalu koji se prerađuje, a isprešavanje pod utjecajem mehaničke sile, nego i mehanizmom procesa. Naime, barem kad se proces odvija normalno, kapljevina koja se odvaja isprešavanjem ne transportira čvrstu tvar, ili barem ne toliko da se, kao pri filtriranju, na stijenkama formira filarski kolač. Osim toga, dok se filtriranjem razdvajaju kapljevine od čvrstih tvari, tj.

isključivo iz materijala koji se mogu transportirati pomoću crpki, isprešavanjem se mogu izdvajati i kapljevine iz materijala koji kao cjelina mogu biti čvrsti.

Opcenito je, zbog manjeg utroška energije, za jednaku količinu odvojene kapljevine isprešavanje ekonomičnije od filtriranja. Međutim, da bi se kapljevina mogla isprešati iz nekog materijala, materijal mora imati specifična svojstva. Najvažnije je da se daje znatno deformirati kompresijom i pri tome zadržati dovoljnu propusnost za kapljevinu. Zbog toga isprešavanje je primjenljivo samo u dosta ograničenom području procesne tehnike, koje se može podijeliti na tri dijela: izdvajanje kapljevina iz dovoljno kapljevnom bogatih materijala s vlaknatom strukturom čvrste tvari, iz vrlo elastičnih poroznih materijala, te iz rastresitih elastičnih muljeva.

Najviše se isprešavanje upotrebljava u preradbi materijala iz prve od te tri skupine, osobito u prehrambenoj industriji za izdvajanje sokova iz voća i drugih dijelova biljaka i ulja iz sjemenja, ali dosta i u kemijskoj industriji, npr. za odvodnjavanje mokre celuloze.

U proizvodnji biljnih ulja isprešavanje je konkurentno luženju (ekstrakciji). Pri isprešavanju ulja iz sjemenja iscrpci su doduše manji nego pri luženju, ali je kvaliteta proizvoda viša. U proizvodnji biljnih ulja često se te dvije operacije kombiniraju. Svrha tih kombinacija jest da se procesom iskoriste sve prednosti, a eliminiraju nedostaci tih operacija. Iz istog razloga kombinira se i isprešavanje soka šećerne trske i luženje ostatka vodom.

Mokri sintetski kaučuk i treset tipični su predstavnici elastičnih, poroznih tvari, odnosno rastresitih elastičnih muljeva preradivih isprešavanjem (oba, kao i mokra celuloza, radi odvodnjavanja).

Zbog neusporedivo manjeg utroška energije, u mnogim je slučajevima odvodnjavanje isprešavanjem konkurentno sušenju grijanjem. Zbog toga se isprešavanje vrlo često upotrebljava za tu svrhu. Naročito u kombinaciji sa sušenjem.

Isprešavanje je bilo poznato već u pretpovijesno doba. Do oko smjene prošlog i našeg stoljeća za isprešavanje su stajale na raspolaganju samo šaržne preše. Tada su se pojavili prvi strojevi za kontinualno isprešavanje. To su bile pužne preše (tzv. ekspeler) konstruirane za industriju biljnih ulja. Otada su te i kontinualne preše konstruirane na drugim principima sve više istiskivale šaržne iz upotrebe, tako da danas šaržne preše, barem za industriju, imaju skoro još samo povijesno značenje.

ŠARŽNO ISPREŠAVANJE

Usprkos vrlo dugoj upotrebi isprešavanja, teorija nije čak ni za šaržno isprešavanje uspjela dati matematičke izraze fizikalnih osnova te operacije, koji bi omogućili egzaktno projektiranje procesa i konstrukciju opreme. Zadržala se na ograničenom razvijanju sasvim pojednostavnjenih predodžbi.

Pri tome se obično polazi od hipoteze da promjena tlaka p nad materijalom iz kojega se može isprešati kapljevina uzrokuje proporcionalnu promjenu mase q_s čvrste tvari u jedinici volumena sustava, tj.

$$\frac{dp}{p} = K dq_s, \quad (1)$$

gdje je K konstanta ovisna o svojstvima materijala i uvjetima procesa.

Budući da je $q_s = \frac{1}{v}$, gdje je v specifični volumen materijala na bazi sadržaja čvrste tvari, iz (1) slijedi i

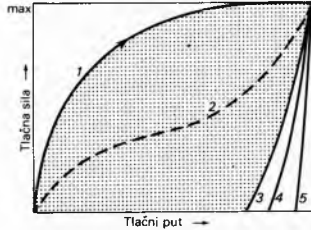
$$\frac{dp}{d\left(\frac{1}{v}\right)} = K p. \quad (2)$$

Integracijom se iz (2) dobiva

$$\log p = k + \frac{k'}{v}, \quad (3)$$

(gdje su k i k' također konstante ovisne o svojstvima materijala i uvjetima procesa), prema čemu je međuovisnost tog tlaka i tog volumena koji se pod njim uspostavlja, eksponencijalna. Na temelju tih izraza izvedeni su brojni izrazi za različite specifične slučajeve, s empirijski određenim eksponentima.

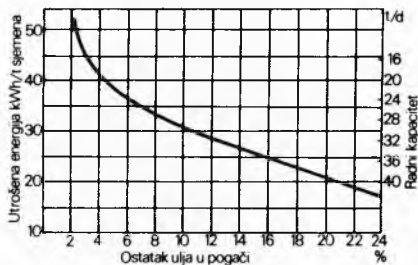
Stanoviti odnosi između uvjeta i mehanizma procesa pri šaržnom isprešavanju mogu se prikazati tzv. dijagramima sila—put (sl. 1), kojima se registrira za odvijanje isprešavanja potreban rast djelujuće sile s napredovanjem procesa (izraženim s pomoću pređenog puta na kojem ta sila djeluje). Iz dijagrama slijedi da se pri vrlo brzom povećavanju tlaka za isprešavanje troši mnogo više energije nego pri vrlo sporom. To doduše samo za sebe nije osobito štetno, jer su energije o kojima se pri tome radi razmjerno male (kapacitet šaržnih preša općenito je malen, a put njihovih tlačnih elemenata razmjerno kratak, usprkos velikim radnim tlakovima). Međutim, to ima štetne posljedice za uspjeh operacije: slabije iscrpke i više suspendirane čvrste tvari u isprešanoj kapljevine. Zbog toga se općenito isprešava toliko sporo koliko to odgovara nekom optimumu uvjetâ proizvodnje (npr. iscrpka, kvalitete proizvoda, brzine rada).



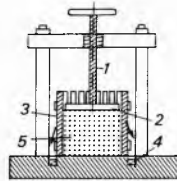
Sl. 1. Dijagram isprešavanja. Tokovi promjena: 1 pri vrlo brzom opterećenju, 2 pri vrlo sporom opterećenju, 3 pri vrlo brzom opterećenju, pri vrlo sporom opterećenju. Površine ograničene krivuljama 1 i 5, 1 i 3 (točkano) i 4 i 5 indicirani rad, utrošena energija, akumulirana (tzv. elastična) energija

Glavne vrste šaržnih preša jesu preše s košarom, s cjedilima, etažne i preše s prstenima. Preše s cjedilima, etažne i preše s prstenima redovito su na hidraulički pogon, ali to mogu biti i sve ostale šaržne preše. Zbog toga se u industrijskoj praksi o šaržnim prešama najčešće govori kao o hidrauličkim prešama.

Preše s košarom (turnjevi, tijeskovci, muljače, sl. 3) najstarije su i najjednostavnije. Najviše se upotrebljavaju za isprešavanje voćnih sokova, posebno groždanog u domaćoj proizvodnji vina, kad su obično na ručni pogon. Inače, osim na ručni i hidraulički, mogu biti i na motorni pogon. Košara im je od okomitih, najčešće drvenih štapova, između kojih može otjecati isprešana kapljevine. Radni tlakovi preša s košarama razmjerno su mali (do ~1,6 MPa).



Sl. 2. Međuovisnost ostatka ulja u pogači, utrošene energije i brzine rada pri isprešavanju ulja iz smljevenog zrnja arašida pužnim prešama



Sl. 3. Preša s košarom. 1 kretni vijak, 2 tlačna ploča, 3 košara, 4 prihvatni kanal, 5 materijal u prerađbi

Preše s cjedilima (sl. 4) slične su konstrukciji preša s košarom. Namjesto košare imaju čvršće kućište u kojemu je propusnim stijenkama bočno ograđeni prostor za kapljevinu (cjedilo). Obično je cjedilo kvadratičnog oblika, a stijenke su mu od perforiranih čeličnih ploča. Dno cjedila tih preša zatvoreno im je nagore pomičnom pločom, tzv. tlačnim stolom. Pod kućištem je prihvatni pladanj za isprešanu kapljevinu prstenastog oblika. Kroz pladanj prolazi tlačni element preše, klip hidrauličkog uređaja.

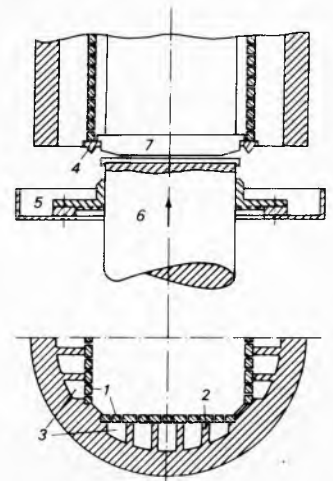
Nakon šaržiranja preša se zatvori poklopcem, pa se pusti u pogon crpka hidrauličkog uređaja. Isprešana kapljevine otječe u pladanj kroz kanale formirane rebrima na unutrašnjoj stijenci kućišta, koja služe kao potporni ploča cjedila.

Dotjeranije su dvojne preše s cjedilima u kojima se isprešavanje dijeli u dvije faze: pretprešanje i doprešavanje, pomoću dva tlačna klipa. Kućišta s cjedilima za tu su svrhu montirana na okretljivom postolju pomoću kojega se premještaju s jednoga na drugi tlačni klip i opet natrag. Doprešava se pod dosta visokim tlakovima (do ~30 MPa na kraju). Te preše mogu imati još i klip za šaržiranje koji tlačni materijal odozgo, uređaj za automatsko dešaržiranje pomoću tlačnog klipa za pretprešanje, uređaj za reguliranje tlakova u pojedinim fazama procesa i uređaje za grijanje cjedila.

Ponekad se s tim prešama radi uz upotrebu uložaka propusnih za kapljevinu među slojevima materijala koji se prerađuje. To mogu biti perforirane ploče, ulošci od filtarskih sredstava. Oni potpomažu otjecanje isprešane kapljevine.

Etažne preše većeg su kapaciteta nego preše s cjedilom, jer su konstruirane za isprešavanje iz materijala u jastucima od filtarskih sredstava (obično filtarskog platna), što omogućava brže šaržiranje i dešaržiranje. Zbog toga nemaju ni cjedila ni kućišta, već samo glavu i postolje s tlačnim stolom spojene stupovima i ploče, obično ugrađene tako da mogu slobodno klizati po stupovima nagore i nadolje. U te ploče mogu biti ugrađeni i vodovi za grijanje, a na površini su im kanali za otjecanje kapljevine. Napunjeni se jastuci često pretprešaju, da bi se bolje složili i da ne bi ispadali. Obično je i proces u preši dvostepen. Najprije se pretpreša, pa dekomprimira i zatim isprešava do kraja, najviše do ~10 MPa.

Preše s prstenima (koritima, kutijama, loncima) principom su konstrukcije između etažnih i preša s cjedilima. Namjesto cjedila, odnosno ploča, one imaju sklopove od nekoliko elemenata. Konstrukcija tih sklopova može biti različita. Jedna je od njih (sl. 5) pomoću prstena i ploča (klipova) naročito oblika. Središnji dio tih ploča, s promjerom nešto manjim od unutrašnjeg promjera prstena, zapravo je klip koji pri tlačenju ulazi u prsten ispunjen materijalom iz kojega se isprešava kapljevine. Na površini su tog izdanka kanali za otjecanje kapljevine. S klipom se u unutrašnjosti prstena pomiče i nosač (perforirana ploča) s filtarskim materijalom. Gornja strana prstena zatvorena je također filtarskim materijalom i perforiranom pločom i također ima kanale za otjecanje kapljevine.



Sl. 4. Princip konstrukcije preše s cjedilom. 1 ploče cjedila, 2 potporna rebra, 3 kanali za otjecanje kapljevine, 4 okapnik, 5 prihvatni pladanj, 6 klip, 7 pomična ploča

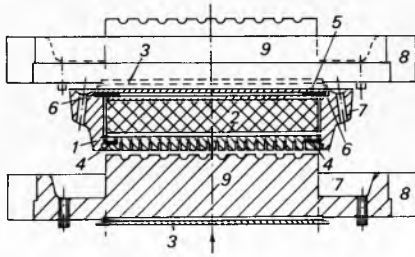
Taj sklop omogućava isprešavanje pod većim tlakovima (do ~25 MPa), nego što je to moguće s etažnim prešama. Međutim, šaržiranje i dešaržiranje preša s prstenima dosta je neprilичno, pa je njihova upotreba uvijek bila ograničena. (Najviše se upotrebljavaju za isprešavanje masti kakaovca.)

KONTINUALNO ISPRESAVANJE

Za razliku od šaržnog isprešavanja, za kontinualno isprešavanje primjenjuju se međusobno vrlo različiti principi (npr. isprešavanje pužnicama, valjcima, beskonačnim trakama). Teorija dosada nije dala nikakve matematičke opise tih procesa. Taj se nedostatak kompenzira mnoštvom empirijskih podataka. Zbog najveće velikih kapaciteta i snaga kontinualnih preša (čak s instaliranom snagom i od više MW) odnosi između iscrpka (obično se u dijagramima namjesto podataka o iscrpcima bilježe podaci o sadržaju kapljevine u ostatku materijala nakon isprešavanja), utroška energije i brzine rada (sl. 2) pri kontinualnom su isprešavanju vrlo važni.

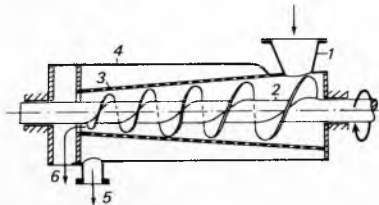
Od strojeva za kontinuirano isprešavanje najvažniji su ekspelari. Ostali strojevi iz te skupine (preše s valjcima, s trakastim sitima, s pločama) imaju znatno manje praktično značenje.

Ekspelari također imaju cjedilo. Njihova su cjedila gotovo uvijek položeni bubnjevi sa stijenkama propusnim za kapljevinu,



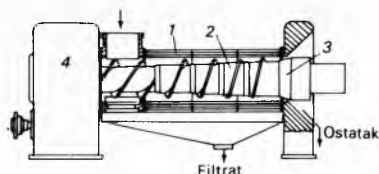
Sl. 5. Slog preše s prstenima. 1 prsten, 2 vuneni pokrov, 3 perforirana ploča, 4 kožna brtva, 5 aluminijski prsten, 6 brtveni porub, 7 ispušnik kapljavine, 8 vodilica klipa, 9 klip

unutar kojih kao tlačni element rotira pužnica. Navoj te pužnice gotovo dosjeđa na unutrašnje stijenke cjedila. Za povećavanje tlaka u materijalu koji se isprešava na putu od ulaska do izlaska iz ekspelera cjedilo i pužnica mogu biti zakošeni (sl. 6). Međutim, pri takvoj konstrukciji teško je postići tražene visoke tlakove isprešavanja.



Sl. 6. Princip konstrukcije ekspelera za rezance šećerne repe. 1 lijevak za šaržiranje, 2 pužnica, 3 cjedilo, 4 kućište, 5 ispušnik soka, 6 ispušnik čvrstog ostatka

Mnogo djelotvornije povećavanje tlaka isprešavanja daje se postići smanjivanjem uspona navoja uz povećavanje promjera jezgre pužnice u konstrukcijski povoljnijem, i zbog toga za visoke tlakove prikladnijem, cilindričnom cjedilu (sl. 7). Najbolje se djelovanje postiže stepenastim povećavanjem promjera jezgre i smanjivanjem uspona pužnice u nekoliko zona, među kojima je navoj pužnice prekinut. Tada se i isprešavanje odvija u nekoliko faza, kojima se trajanje može uskladiti radi postizavanja optimalnih rezultata. Obično je odmah iza ulaza u cjedilo razmjerno duga zona s velikim usponom navoja pužnice, namijenjena za pretprešanje, a za njom slijedi sve više kraćih zona sa sve manjim usponima navoja pužnice za sve jače tlačjenje. Prekidi navoja omogućavaju ugrađivanje grebena na unutrašnjoj stijenci cjedila, koji u velikoj mjeri ograničavaju kružno gibanje materijala u preradbi zajedno s pužnicom. Radi toga se i štapovi cjedila ugrađuju u nagnutom položaju, naročito u blizini ispusta pogače. Za regulaciju maksimalnog radnog tlaka ekspelera, potrebnu da bi se štapovi mogli prilagoditi različitim režimima uvjeta proizvodnje, na njihovom izlazu iz cjedila nalazi se konični prsten kojim se regulira površina ispusta čvrstog ostatka. Kad se radi s materijalima iz kojih se kapljavine lako isprešavaju, taj se prsten može zamijeniti perforiranom pločom.



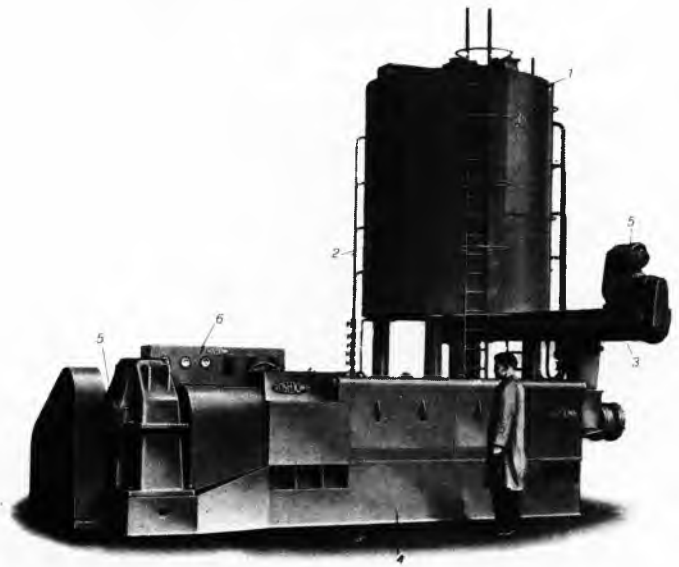
Sl. 7. Princip konstrukcije suvremenog visokotlačnog ekspelera. 1 cjedilo, 2 pužnica, 3 konus za reguliranje tlaka, 4 zagonski sklop

Maksimalni radni tlakovi ekspelera za niskotlačno isprešavanje obično su 7...14 MPa. Ekspeleri za visokotlačno isprešavanje konstruiraju se i za maksimalne radne tlakove 150...310 MPa.

Najviše se ekspeleri upotrebljavaju za odvajanje kristalizata (npr. naftalena, klorbenzena, ksilola) iz smjesa s još kapljevitim

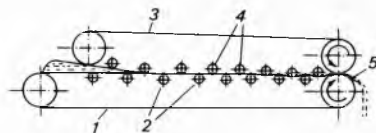
sastojcima materijala iz kojih su izlučeni, uklanjanje vode iz različitih mokrih materijala (npr. kaučuka, polivinilklorida, celuloze, rezanaca šećerne repe) i dobivanje ulja iz različitih plodova. Isprešavanjem se, npr., sadržaj kapljavine kristalizata može sniziti na 1...2%, kaučuka sa ~50% na ~10%, rezanaca šećerne repe sa ~94% na 14...15%, ulja u pogači na par postotaka. Puzavi materijali poput gline, treseta i muljeva ne mogu se prerađivati ekspelerima.

Pri isprešavanju nekih kapljavina (npr. ulja) potrebno im je sniziti viskozitet i čvrsti materijal učiniti propusnijim, tzv. kondicioniranjem, zapravo termičkom obradom. Radi toga su tada ekspeleri spregnuti u agregate s grijačima (sl. 8). Ti predgrijači mogu biti položeni, ali češće su uspravljeni bubnjevi. Uspravljeni grijači obično su etažni i svaka im se etaža grije uređajima ugrađenim u pod. Materijal se u tim grijačima miješa uspravljenim mješalom koje se sastoji od ugrađenog vratila u središnjici i na njemu učvršćenih krakova u svakoj etaži. Krakovi su oblikovani tako da se materijal kroz grijač giblje naizmjenično s ruba prema sredini u jednoj, pa od sredine prema rubu u slijedećoj etaži.



Sl. 8. Niskotlačni ekspeler za ulje kapaciteta 175 t/dan. 1 grijač, 2 razvodnik pare, 3 transporter za hranjenje preše, 4 kućište preše, 5 zagonski sklopovi, 6 komandna ploča

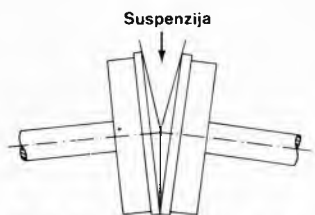
Preše s trakastim sitima konstruirane su za isprešavanje kapljavina iz materijala koje pri tome treba čuvati od velikih mehaničkih naprežanja. Princip isprešavanja tim strojevima (sl. 9) jest tlačjenje materijala u preradbi na beskonačnoj traci sita (npr. od pletiva iz monofilne ili upredene žice, umjetnog ili miješanog vlakna) pomoću druge (tlačne) trake. Pri tome se materijal izlaže razmjerno malom tlaku, ali taj se za učinak isprešavanja negativni faktor donekle kompenzira time što se proces odvija u razmjerno vrlo tankom sloju. Potrebna regulacija tlaka u pojedinim zonama takvog isprešavanja (obično tako da tlak raste s napredovanjem procesa) u tim se prešama izvodi automatski, prilagođavanjem položaja valjaka tlačne trake. Učinak se tih preša poboljšava i valovitim gibanjem materijala, koje se postiže podešavanjem položaja potpornih valjaka.



Sl. 9. Princip rada preše s trakastim sitima. 1 traka sita, 2 potporni valjci, 3 tlačna traka, 4 tlačni valjci, 5 strugač za čvrsti ostatak

Preše s trakastim sitima prikladne su za odvodnjavanje muljeva. Isprešavanjem se u tim prešama sadržaj vode materijala može sniziti sa 90...95% na 65...75%.

Preše s valjcima upotrebljavaju se za odvodnjavanje najviše u proizvodnji celuloze i papira. U tim strojevima isprešava se tlačenjem materijala koji ulazi odozdo, između dva valjka s plaštem od perforiranih ploča. Isprešana se voda izvodi kroz unutrašnju valjka. Odvodnjeni se materijal skida s valjaka strugačima ili beskonačnim užetima, odnosno trakama navučanim na valjke.



Sl. 10. Princip rada preše s pločama

Preše s pločama također se upotrebljavaju za slične svrhe, kao i preše s valjcima. To su jednostavni uređaji sa dvije istosmjerno rotirajuće, perforirane, međusobno malo razmaknute, konične ploče (sl. 10). Razmak im se može podešavati prema potrebama.

LIT.: H. Ulrich, *Mechanische Verfahrenstechnik*. Springer Verlag, Berlin-Heidelberg 1967. — C. F. Gurnham, *Expression*, u djelu J. H. Perry, *Chemical Engineers Handbook*. McGraw Hill, New York 1963.

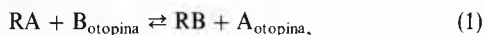
Ž. Viličić

IZMJENA IONA, međusobna zamjena iona između krute faze (ionskog izmjenjivača) i tekuće faze (otopine elektrolita). Procesom izmjene ionski se izmjenjivač ne mijenja. Sposobnost izmjene iona ovisi o specifičnoj strukturi krute faze. Ionski izmjenjivač ima tradicionalni kostur na kojem su fiksirani nepokretni ioni s pozitivnim ili negativnim nabojima. Elektro-neutralnost kostura s nepokretnim ionima održavaju pokretni ioni suprotnog naboja (*protuioni*), koji se nalaze unutar izmjenjivača i mogu se zamijeniti ionima istog naboja iz otopine elektrolita. Ta zamjena iona odvija se u stehiometričkom odnosu, pa se ukupna koncentracija elektrolita ne mijenja ni u otopini ni u izmjenjivaču. Mijenja se samo sastav izmjenjivača.

Ionska izmjena je metoda odjeljivanja koja po svojoj važnosti i uspješnosti ne zaostaje za ostalim metodama odjeljivanja u laboratorijskim i tehnološkim procesima: destilacijom, ekstrakcijom, taloženjem i drugima.

Ionska izmjena najprije je bila uočena u agrikulturni. H. S. Thompson i J. T. Way objavili su i tumačili 1850. godine opažanja Spencera, koji je ispitivao gubitke amonijevih soli iz stajskog gnojiva i utvrdio da otopina amonij-sulfata nakon prolaza kroz stupac pjeskovite ilovače izlazi bez amonij-sulfata, ali s povećanim sadržajem kalcij-sulfata. Fenomen je nazvan izmjenom baza, jer tada još nije bila poznata Arrheniusova teorija elektrolitičke disocijacije. W. Henneberg i F. Stohman upozorili su 1858. na stehiometriju i reverzibilnost izmjene. J. Lemberg je 1870. utvrdio da niz minerala posjeduje sposobnost izmjene, prvenstveno zeoliti, prevodeći leucit, $KAlSi_3O_8 \cdot 2H_2O$, kvantitativno u izomorfnu analcim, $NaAlSi_3O_8 \cdot H_2O$, ispiranjem s otopinom natrij-klorida. R. Gans je 1905. sintetizirao prve anorganske izmjenjivače, od kojih se permutit primjenjivao za mekšanje vode. Od 1935. godine, kad su B. A. Adams i E. L. Holmes utvrdili da umjetne smole također mogu zamjenjivati ione, započeo je nagli razvoj proizvodnje ionskih izmjenjivača na bazi umjetnih smola. Njihova primjena proširila se do danas od tehnologije vode na ostale kemijske tehnološke procese, zatim u medicini, farmaciji itd.

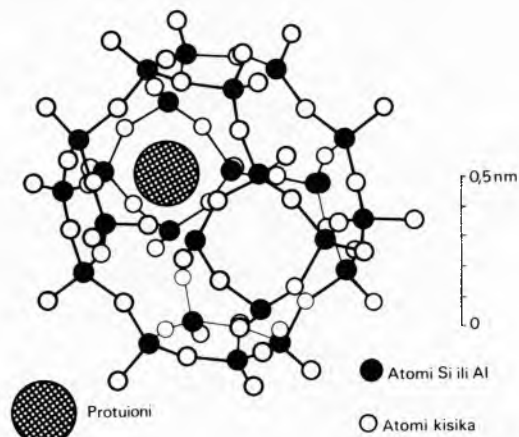
Ionski izmjenjivači su kruti makromolekularni polielektroliti. U dodiru s otopinom elektrolita protuioni se zamjenjuju s ionima jednakog naboja iz otopine:



gdje je R kruti polion izmjenjivača, A protuion izmjenjivača, a B ion u otopini koji se izmjenjuje. Proces je reverzibilan, pa se izmjenjivač nakon vezanja (sorpcije) iona B iz otopine može vratiti u svoj početni oblik (regeneracija).

Sposobnost ionske izmjene pokazuje niz prirodnih i sintetskih anorganskih i organskih tvari. Primjena anorganskih izmjenjivača ograničena je zbog njihove kemijske nepostojanosti (osjetljivosti prema promjeni pH). Prirodni i sintetski anor-

ganski izmjenjivači jesu *alumosilikati* (zeoliti). Njihov kruti polion ima negativni naboj zbog toga što se na nekim mjestima u njegovoj kristalnoj rešetki umjesto silicija nalazi aluminiij. Negativni naboj neutraliziran je pokretnim natrij-ionima, Na^+ , koji se mogu zamijeniti s ionima kalcija ili magnezija (Ca^{2+} ili Mg^{2+}), što nalazi primjenu u mekšanju vode. Neelastična kristalna rešetka ima definiranu veličinu pora i djeluje kao molekulsko ili ionsko sito (sl. 1).



Sl. 1. Kristalna rešetka anorganskog izmjenjivača (habazita)

Od prirodnih organskih tvari sposobnost ionske izmjene imaju pamuk, vuna, celuloza, humusne tvari u tlu i lignin. Najrašireniju primjenu imaju danas organski sintetski izmjenjivači na bazi umjetnih smola zbog svojih svojstava, na kojima se osniva njihova upotrebljivost u laboratoriju i industriji: ekstremno niska topljivost, zbog čega se otopina u dodiru s izmjenjivačem ne zagađuje; struktura hidrofилnog gela, koja omogućuje nesmetanu difuziju iona unutar izmjenjivača; dovoljno visoki kapacitet izmjene, koji se ne smije mijenjati duljom upotrebom; kemijska stabilnost prema kiselinama, lužinama i oksidacijskim sredstvima, te radijaciji; fizička stabilnost, npr. otpornost zrna izmjenjivača prema hidrauličkom tlaku unutar stupca izmjenjivača, te prema osmotskom tlaku unutar zrna, koji može mijenjati volumen zrna promjenom elektrolita i njegove koncentracije; sposobnost brze izmjene iona.

STRUKTURA I SINTEZA ORGANSKIH SINTETSKIH IZMJENJIVAČA

Kostur (matrica) sintetskog izmjenjivača na bazi umjetne smole izgrađen je iz polimernih lanaca alifatskih ili aromatskih spojeva povezanih poprečnom vezom. Takav kostur ima oblik nepravilne trodimenzionalne mreže, na kojoj su smještene funkcionalne grupe. Njihovom ionizacijom nastaju nepokretni ioni na koje se vežu pokretni ioni unutar izmjenjivača.

Prema karakteru funkcionalnih grupa izmjenjivači mogu biti kationski i anionski. Funkcionalne grupe kationskih izmjenjivača imaju kiseli karakter: sulfonska $-SO_3H$, karboksilna $-COOH$, fenolna hidroksilna grupa i druge. Funkcionalne su grupe anionskih izmjenjivača bazične: primarne, sekundarne, tercijarne aminogrupe, te kvaternarne amonijske grupe (sl. 2). Funkcionalne grupe nemaju jednako izraženu kiselost, odnosno bazičnost, koje ovise o njihovoj ionizaciji. Što je ionizacija veća, izmjena iona odvija se u širem pH-području. Prema kiselosti, odnosno bazičnosti funkcionalnih grupa, izmjenjivači se mogu svrstati u jako kisele i slabo kisele kationske izmjenjivače, te u jako bazične, umjereno bazične i slabo bazične anionske izmjenjivače. Izmjenjivači s jednom vrstom funkcionalnih grupa jesu monofunkcionalni, a oni s više vrsta funkcionalnih grupa polifunkcionalni.

Osnovne komponente za sintezu nekog organskog izmjenjivača jesu stvaralac linearnog polimera, stvaralac poprečne veze i odgovarajuća funkcionalna grupa. Iz tih se komponenta izmjenjivač može sintetizirati polimerizacijom ili polikondenzacijom (v. *Polimerizacija i polikondenzacija*). U tim procesima