



Sl. 25. Novo poslovno-trgovačko reprezentativno središte La Défense u Parizu

avno nestao i zamijenjen je izrazom centar, u koji se uključuje čitav sustav hijerarhiziranih sekundarnih, tercijarnih i drugih centara svih mogućih namjena, sadržaja i funkcija. Razrađene su i visoko sofisticirane teorije i planski modeli po kojima su izgrađeni novi javni prostori i arhitektonski ansambli (sl. 25). Iako je njihova znanstvena i ekonomska fundiranost neosporna, a atraktivnost i društvena korisnost potvrđena, uza sve blještavilo sadržaja ipak ostaju najvećim dijelom na razini općih planerskih shema i šture utilitarnosti. Preopterećeni tehnologijom opreme i hipertrofijom svih oblika poslovno-trgovačko-potrošačkih sadržaja, ostavljaju malo prostora za duhovnu i poetsku sferu života. Tek poneke studije i projekti istaknutih urbanista i arhitekata (I. M. Pei, L. Krier, R. Venturi i dr.) na tragu su izvornoga povijesnog iskustva i otkrivaju nove dimenzije, oblike i simbole, nudeći vizije budućeg trga kao srca grada.

LIT.: P. Ritter, *Planning for Man and Motor*. Pergamon Press, Oxford 1964. – K. Lössing, *Strassen und Plätze*. G. D. W. Callwey, München 1970. – B. Richards, *Stadtverkehr von Morgen*. G. D. W. Callwey, München 1970. – H. M. Rubenstein, *Central City Malls*. J. Wiley and Sons, New York 1975. – J. McCluskey, *Road Forms and Townscape*. The Architectural Press, London 1979. – B. Milić, *Razvoj grada kroz stoljeća, I–II*. Školska knjiga, Zagreb 1994–1995.

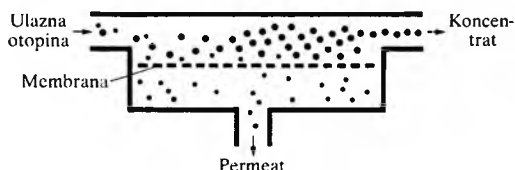
B. Milić

**ULTRAFILTRACIJA**, jedan od postupaka tlačnoga membranskoga razdvajanja kapljeviti smjesa, a temelji se na selektivnim svojstvima membrana, tankih fizikalnih barijera, koje su različito propusne za pojedine komponente smjese.

Pogonska sila tlačnih membranskih procesa razdvajanja (reverzne osmoze, ultrafiltracije i mikrofiltracije) posljedica je tlačnog gradijenta kroz presjek membrane (v. *Membrane*, TE 8,

str. 381). Tlačni se membranski procesi međusobno razlikuju prema svojstvima upotrijebljenih membrana i prema mehanizmu razdvajanja. Prilikom reverzne (obratne) osmoze membrane zadržavaju praktički sve otopljene tvari, a propuštaju samo otapalo, pri ultrafiltraciji zadržavaju pretežno čestice relativne molekule mase veće od 500, dok pri mikrofiltraciji uz otapala propuštaju i većinu otopljenih niskomolekulnih tvari, a zadržavaju samo koloidne i suspendirane čestice.

Mehanizam razdvajanja pri reverznoj osmozi, gdje su membranske pore vrlo malih, praktički molekularnih dimenzija (do 2 nm), većim se dijelom svodi na međudjelovanje membranskog materijala i komponenata smjese koja se obrađuje. Pri ultrafiltraciji (sl. 1), a pogotovo pri mikrofiltraciji, razdvajanje pretežno proizlazi iz filtracijskog učinka, koji se osniva na omjeru veličine membranskih pora i veličine čestica kapljevite smjese.



Sl. 1. Prikaz mehanizma razdvajanja ultrafiltracijom

Svojstva membrane, u prvom redu veličine pora, međudjelovanje membrane i otopljenih tvari, ali i svojstva otopina (osmotski tlak) određuju i radne tlakove potrebne za provođenje procesa. Stoga su za reverznu osmozu, za koju se upotrebljavaju membrane najmanjih pora, potrebni najviši radni tlakovi, od 20–10 MPa, proces ultrafiltracije provodi se djelovanjem tlakova od 50–1000 kPa, dok su za mikrofiltraciju potrebni tlakovi niži od 50 kPa.

Pojam ultrafiltracije uveo je H. Bechold 1907. opisujući filtraciju čestica vidljivih samo ultramikroskopom. R. Zsigmondy (1927) i W. Elford (1930) pripremili su više ultrafiltracijskih membrana od kolodija za razdvajanje čestica različite veličine. Zbog male propusnosti membrana postupak je bio ograničen na laborato-

rijsku primjenu. Tek su S. Loeb i S. Sourirajan (1960. do 1963) razvili metodu pripreme tzv. *asimetričnih membrana*, koje su uz veliku selektivnost imale i veliku propusnost potrebnu za industrijsku primjenu procesa. To je omogućilo naglo širenje ultrafiltracije i njezinu primjenu pri razdvajanju, pročišćavanju, koncentriranju i frakcioniranju kapljevitih smjesa u kemijskoj, prehrambenoj i farmaceutskoj industriji.

Bitna je pogodnost i prednost ultrafiltracije u tome što se razdvajanje provodi bez faznih promjena (isparivanje, skrućivanje) i na temperaturi okoline, pa komponente smjese ostaju kemijski i fizikalno nepromijenjene, što je posebno važno pri obradbi biološkog materijala osjetljivog na temperaturne promjene.

Ultrafiltracijske asimetrične membrane (v. *Membrane*, TE 8, str. 390) pripravlja se danas iz mnogih polimernih materijala, najčešće iz celuloznog acetata, polisulfona, te aromatskih poliamida. Iako je od tih materijala celulozni acetat kemijski najmanje postojan, jer lako hidrolizira i u kiselim ( $pH < 3,5$ ) i u alkalnim sredinama ( $pH > 8$ ), a nepostojan je i u organskim otapalima, na višim temperaturama i u mikrobnim sredinama, ipak se mnogo primjenjuje, jer omogućuje kontroliranu pripremu jeftinih membrana u širokom rasponu veličine pora. Polisulfonske su membrane, naprotiv, izvanredno kemijski postojane čak i pri povišenoj temperaturi (do  $100^\circ C$ ), no nemoguće ih je pripremiti u širem rasponu veličine pora, a u primjeni pokazuju nepoželjne pojave uzrokovane adsorpcijom. Membrane od različitih aromatskih poliamida temperaturno su i kemijski dosta postojane, izuzevši izrazitu nestabilnost prema kloru, koji je najčešće sredstvo za sterilizaciju i čišćenje ultrafiltracijskih uređaja.

Propusnost (permeabilnost, proizvodnost) membrane  $G$ , tj. obujam kapljevine propuštene kroz površinu membrane u nekom vremenu, određuje se pomoću izraza

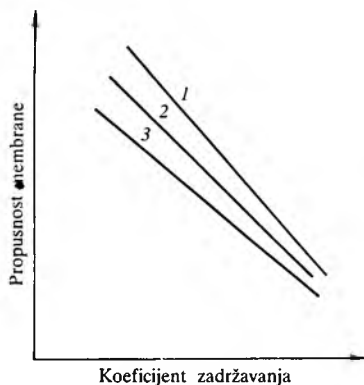
$$G = B(p - \Delta\pi), \quad (1)$$

gdje je  $p$  radni tlak,  $\Delta\pi$  razlika osmotskih tlakova kapljevine s obje strane membrane, a  $B$  je koeficijent proporcionalnosti koji karakterizira membranu. Jedinica mu je metar po sekundi i paskalu ( $m s^{-1} Pa^{-1}$ ), ali se obično navodi kao  $m^3 m^{-2} h^{-1} MPa^{-1}$ .

Separacijska se svojstva ultrafiltracijskih membrana definiraju *membranskom karakteristikom*, tj. ovisnošću propusnosti o koeficijentu zadržavanja  $\phi$ , koji iznosi

$$\phi = \frac{c_{ul} - c_p}{c_{ul}}, \quad (2)$$

gdje su  $c_{ul}$  i  $c_p$  koncentracije tvari u ulaznoj otopini i u permeatu. U dijagramu (sl. 2) prikazane su, radi ilustracije, karakteristike triju membrana (ovisnost propusnosti o koeficijentu zadržavanja), od kojih je membrana 1 najboljih, a membrana 3 najlošijih separacijskih svojstava.

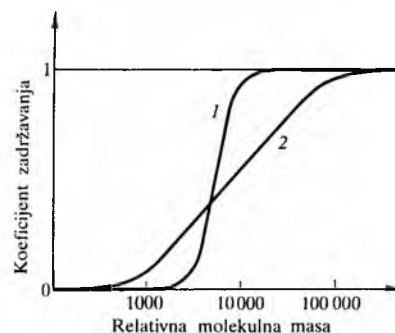


Sl. 2. Tipične karakteristike membrana

Koeficijent zadržavanja određuje se eksperimentalno mjerenjem propusnosti membrana za različite tvari, tzv. markere. Kad se radi o membranama za reverznu osmozu, marker za određivanje faktora zadržavanja jest otopina natrijeva klorida, tj. ioni  $Na^+$  i  $Cl^-$ . Za ultrafiltracijske membrane mnogo većih pora markeri su razne tvari veće molekularne mase i kuglasta oblika molekula, npr. albumin.

Membranske pore nisu pravilnoga geometrijskog oblika niti jednakih dimenzija. Važna je raspodjela pora po veličini, koja može biti uža ili šira. Stoga se kao mjera za selektivnost mem-

brana često, uz koeficijent zadržavanja, navodi donja, a katkad i gornja granica propusnosti izražena relativnom molekularnom masom čestica markera, te oštrina razdvajanja membrane (sl. 3). Strmi nagib krivulje pokazuje oštro razdvajanje membrane, dok je položen nagib karakterističan za difuzno razdvajanje, tj. propusnost membrane za molekule koje se po molekularnoj masi dosta razlikuju.

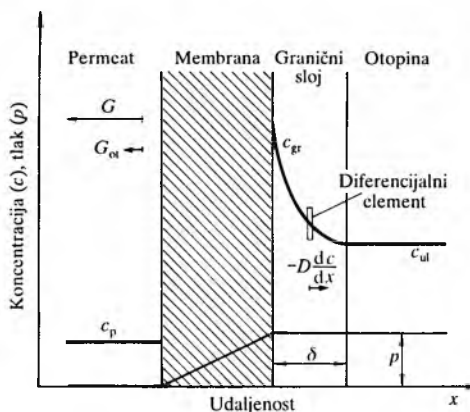


Sl. 3. Oštrina razdvajanja ultrafiltracijskih membrana. 1 oštro, 2 difuzno razdvajanje

Pronalazak i uvođenje vrlo djelotvornih ultrafiltracijskih membrana istaknuli su važnost *koncentracijske polarizacije*, koja je pri upotrebi slabo propusnih membrana bila teško uočljiva.

Koncentracijska polarizacija svojstvena je svim membranskim procesima, a pri povratnoj osmozi i ultrafiltraciji izravno utječe na pokretačku silu procesa. Zbog polupropusnosti membrane na tlačnoj se strani, u sloju neposredno uz membranu, povećava koncentracija otopljenih tvari, dakle i osmotski tlak, zbog čega se prema jednadžbi (1) smanjuje propusnost membrane. Osim smanjenja pogonske sile procesa, koncentracijska polarizacija može prilikom ultrafiltracije uzrokovati i druge nepoželjne učinke, poput taloženja i geliranja nekih komponenata otopine u graničnom sloju.

U skladu s predodžbom o graničnom sloju, na slici 4 prikazan je nastanak koncentracijske polarizacije, odnosno uspostavljanje stacionarne koncentracije otopljenih tvari s obje strane membrane. Djelovanjem tlačnog gradijenta na otopinu, kroz membranu prolazi permeat sa stacionarnom koncentracijom  $c_p$ , otopljene tvari. U tankom se graničnom sloju povećava koncentracija otopljenih tvari  $c_{gr}$ . Otopljene tvari također difundiraju iz graničnog sloja debljine  $\delta$  natrag u masu otopine. Tako se stvara gradijent koncentracije u graničnom sloju. U stacionarnom je stanju protok otopljenih tvari kroz granični sloj, pa prema tome i gradijent koncentracije, stalan.



Sl. 4. Koncentracijska polarizacija pri ultrafiltraciji

Bilanca materijala za otopljene tvari u diferencijalnom elementu graničnog sloja iznosi

$$J_{ot} = c_p G = c G - D \frac{dc}{dx}, \quad (3)$$

gdje je  $J_{ot}$  protok otopljenih tvari ( $mol m^{-2} s^{-1}$ ), a  $D$  koeficijent difuzije. Integracijom te jednadžbe uz granične uvjete ( $c = c_{ul}$  pri  $x = 0$  i  $c = c_{gr}$  pri  $x = \delta$ ) slijedi

$$\frac{c_{gr} - c_p}{c_{ul} - c_p} = \exp \frac{G}{k}, \quad (4)$$

pri čemu je koeficijent prijenosa mase  $k$  definiran omjerom koeficijenta difuzije i debljine graničnog sloja.

Iznos koncentracijske polarizacije može se brojčano izraziti polarizacijskim modulom:

$$M_p = \frac{c_{gr}}{c_{ul}}, \quad (5)$$

koji je jednadžbama (2) i (4) povezan s koeficijentom zadržavanja:

$$M_p = 1 + \varphi \left[ \exp \frac{G}{k} - 1 \right]. \quad (6)$$

Navedene relacije, proizašle iz teorije o graničnom sloju na tlačnoj strani membrane, sadrže neka pojednostavljenja, koja tek neznatno utječu na računanje koncentracijske polarizacije. Važno je, međutim, uzeti u obzir režim strujanja na tlačnoj strani membrane, jer se koncentracijska polarizacija pri turbulentnom strujanju bitno razlikuje od one pri laminarnom strujanju.

Ultrafiltracijom se koncentriraju, razdvajaju i fracioniraju makromolekulne i koloidne otopine, pa njihova specifična svojstva također utječu na separacijski proces. Prije svega, pritom se radi o svojstvima koncentriranih makromolekulnih i koloidnih otopina kakve se pojavljuju na tlačnoj strani membrane. Viskoznost koncentriranih makromolekulnih otopina neuobičajeno je velika, pa one čak prelaze i u pravi gel. Ako se zbog koncentracijske polarizacije na tlačnoj strani membrane otopina pretvori u gel, membranski se proces (permeacija) u potpunosti mijenja; na površini membrane stvara se tzv. *predmembrana*, koja smanjuje ultrafiltracijski tok i kontrolira permeaciju. Prisutnost i svojstva gelne predmembrane na ultrafiltracijski tok i zadržavanje objašnjavaju se modelom prikazanim na slici 5.

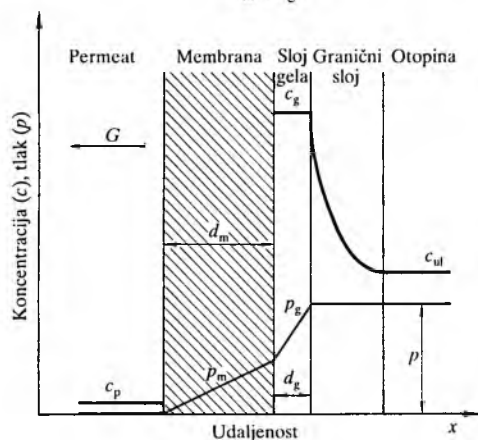
Propusnost membrane za obične otopine, bez stvaranja gela i predmembrane, može se izraziti omjerom radnog tlaka i hidrauličkog otpora membrane:

$$G = \frac{\Delta p}{r_m}, \quad (7)$$

gdje je  $\Delta p$  razlika tlaka između otopine na tlačnoj strani membrane i permeata. U skladu s tim, djelovanje se predmembrane objašnjava zbrojem hidrauličkih otpora membrane i predmem-

brane povezanih u seriju. U stacionarnom stanju, tj. kad je predmembrana već stvorena, propusnost iznosi

$$G' = \frac{\Delta p}{r_m + r_g}, \quad (8)$$



Sl. 5. Koncentracijska polarizacija uz stvaranje gela-predmembrane

gdje su  $r_m$  i  $r_g$  hidraulički otpori membrane i gelne predmembrane. Uvrštenjem vrijednosti  $\Delta p$  iz izraza (7) u (8) dobiva se odnos  $G$  i  $G'$  pri stalnom tlaku potrebnom za proces:

$$G' = \frac{Gr_m}{r_m + r_g} = \frac{G}{1 + \frac{r_g}{r_m}}. \quad (9)$$

Hidraulički otpori  $r_m$  i  $r_g$  izraženi su omjerima debljine membrane  $d_m$  i gela  $d_g$  i njihovih karakteristika  $B_m$  i  $B_g$  iz izraza (1):

$$r_m = \frac{d_m}{B_m}, \quad r_g = \frac{d_g}{B_g}. \quad (10)$$

Točne vrijednosti  $d_g$  i  $B_g$  nisu poznate, a niti lako mjerljive, nego uvijek samo približne, jer ovise o više nepoznatih parametara tipičnih za svaki gel.

Koncentracija pri kojoj se otopina počinje reološki neobično ponašati i pretvarati u gel ovisi o veličini, obliku i stupnju solvatacije otopljenih makromolekulnih čestica. Otopine dugo-

Tablica 1

NEKE OD INDUSTRIJSKIH PRIMJENA ULTRAFILTRACIJE

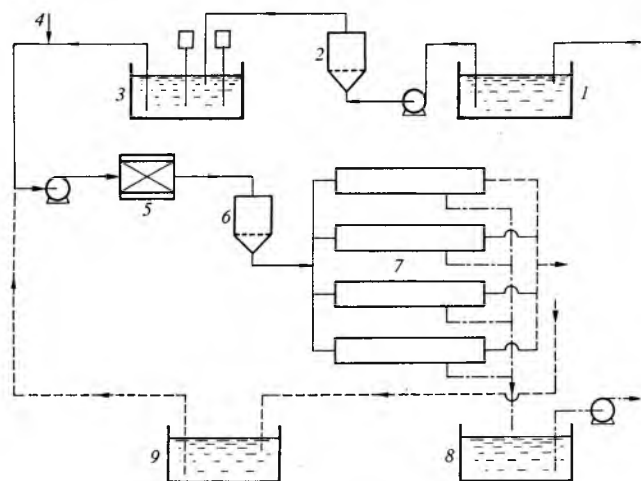
Proizvodno područje	Otopina koja se obrađuje	Osnovni sastojci otopine	Cilj obradbe	Sastav permeata	Tvari dobivene u koncentratu
Automobilska industrija	voda od ispiranja u procesu elektroforetskog bojenja metalnih površina	pigment za metalne površine	razdvajanje, koncentriranje	vodena otopina anorganskih soli	polimer i pigment
Proizvodnja polimernih materijala	otopina lateksa	lateks	koncentriranje	voda	lateks
Obradba metala	emulzija od ispiranja pri strojnoj obradbi metala	ulje i voda	razdvajanje	čista voda	koncentrirana emulzija
Proizvodnja papira i celuloze	otpadne vode	lignosulfonati	razdvajanje i koncentriranje	voda koja se smije izliti u prirodne vode	lignosulfonati
Keramička industrija	razrijeđena suspenzija kaolina	kaolin	koncentriranje	voda	koncentrirana suspenzija kaolina
Tekstilna industrija	voda od ispiranja škrobiva i bojila	škrobiva, bojila	razdvajanje	voda dovoljno čista za otpad	poli(vinil-alkohol), škrob, bojila
Prehrambena industrija	sirutka, otpadne vode pri proizvodnji sira	proteini, laktoza	frakcioniranje	voda, laktoza	proteini
	otpadne vode u mesnoj industriji	proteini	razdvajanje	voda	proteini, masti
	otpadne vode pri proizvodnji kvasca	kvasac	razdvajanje	voda	kvasac
	voćni sokovi	pektin	razdvajanje	bistri sok s originalnom aromom	proizvodi enzimske razgradnje pektina
Biotehnologija i farmaceutska industrija	bjelance jajeta vino nakon fermentacije	proteini	koncentriranje	voda, glukoza	koncentrirani proteini
		vino onečišćeno ostatcima	razdvajanje	pročišćeno i sterilizirano vino	proteini, polisaharidi, koloidna onečišćenja
Biotehnologija i farmaceutska industrija	fermentacijske otopine pri proizvodnji antibiotika, enzima, cjepiva	čvrste čestice (dijelovi stanica, suspendirane krutine)	razdvajanje	bistra otopina antibiotika, enzima, cjepiva	suspenzija

lančanih savitljivih makromolekula počinju gelirati pri udjelu otopljene tvari od 2...5%, otopine makromolekula krutih lanaca mogu dati gel već pri udjelima manjim od 1%, dok otopine zrnatih makromolekula, poput proteina, geliraju pri mnogo višim udjelima, između 15 i 25%.

**Uređaji za ultrafiltraciju** konstruiraju se tako da se uz što bolje iskorištenje aktivne membranske površine postiže što niža koncentracijska polarizacija. Budući da su vrijednosti koeficijenta difuzije makromolekula i koloidnih čestica vrlo male, koeficijent prijenosa mase može se bitno povećati jedino smanjenjem debljine graničnog sloja. Konstrukcijom ultrafiltracijskog uređaja nastoji se stoga povećati smična brzina fluida na površini membrane.

Kako su i za proces ultrafiltracije raspoloživa četiri osnovna, već opisana membranska modula (pločasti, spiralno smotani, cijevni i modul sa šupljim vlaknima; v. *Membrane*, TE 8, str. 387), prednost će pri ultrafiltraciji dobiti moduli u kojima se postižu veće smične brzine fluida. To su sve varijante cijevnog modula, posebno pri obradbi velikih obujama koloidnih suspenzija, te pločasti moduli, koji se pretežno upotrebljavaju kad treba obraditi manje količine dragocjenih bioloških fluida ili proizvoda prehrambene industrije. Međutim, upotrebljavaju se i spiralno smotani modul i modul sa šupljim vlaknima. Njihova uobičajena prednost, niski investicijski troškovi, čine ih zanimljivima i za specifične ultrafiltracijske svrhe, iako se pri njihovoj upotrebi očituju i karakteristični nedostaci: lako začepljenje modula, viši troškovi zamjene membrana i dr.

Na protočnoj shemi postrojenja za ultrafiltraciju (sl. 6) naglašene su specifičnosti koje razlikuju ultrafiltraciju od reverzne osmoze. To je, prije svega, sustav za ispiranje i čišćenje postrojenja, koji je potreban pri ultrafiltraciji za češće ispiranje modula



Sl. 6. Protočna shema postrojenja za ultrafiltraciju. 1 spremnik za ulaznu otopinu, 2 predfilter, 3 namještanje pH, 4 otopina za kloriranje, 5 izmjenjivač topline, 6 filtar, 7 ultrafiltracijski moduli, 8 spremnik za permeat, 9 otopina za čišćenje

kako protok kroz membrane ne bi postao premalen. Iza uređaja za predfiltraciju obično se nalazi i izmjenjivač topline, jer se mnoge kapljevite smjese ultrafiltriraju pri povišenoj temperaturi. Općenito su ultrafiltracijska postrojenja manjeg kapaciteta od onih za reverznu osmozu, a ultrafiltracija se često provodi diskontinuirano.

S obzirom na široko područje primjene, ultrafiltracijska se postrojenja mogu međusobno dosta razlikovati. Ako iz smjese treba ukloniti nečistoće velike molekularne mase, proizvod ultrafiltracije je permeat, a kad treba koncentrirati ili frakcionirati makromolekulnu otopinu, proizvod je *retentat* (koncentrat). Razumljivo je da se to odražava i na protočnu shemu postrojenja i zahtijeva svaki put drugačiji režim rada.

Ultrafiltracija je kao industrijska separacijska metoda našla primjenu u mnogim tehnološkim procesima, pa se upotrebljava za razdvajanje tvari iz otopine, odnosno čišćenje otopine od neželjenih primjesa, za koncentriranje otopine i za frakcioniranje.

Neki su zanimljivi primjeri industrijske primjene ultrafiltracije prikazani u tablici 1.

LIT.: J. E. Flinn, *Membrane Science and Technology*. Plenum Press, New York 1970. – R. E. Lacey, S. Loeb, *Industrial Processing with Membranes*. Wiley-Interscience, New York 1972. – P. Meares, *Membrane Separation Processes*. Elsevier, Amsterdam 1976. – R. F. Madsen, *Hyperfiltration and Ultrafiltration in Plate and Frame Systems*. Elsevier, Amsterdam 1977. – N. N. Li, *Membrane Processes*, u djelu: *Novel Separation Processes*, Perry's Chemical Engineers' Handbook. McGraw-Hill, New York 1984. – G. Belfort, *Synthetic Membrane Processes*. Academic Press, Orlando 1984.

B. Kunst

**ULTRAZVUK**, titranje materijalnih čestica frekvencija viših od 20 kHz, koje se valno širi kroz tvar. Izmjenična promjena fizikalnog stanja tvari, koja se širi od izvora određenom brzinom, može se čuti kao zvuk, šum ili prasak, već prema pravilnosti titranja. Ta pojava može biti i izvan granica čovječjeg sluha. S obzirom na frekvenciju titranja i prosječne slušne mogućnosti ljudi uobičajena je podjela mehaničkog titranja na *infrazvuk* (do 16 Hz), *zvuk* (16 Hz...20 kHz) i *ultrazvuk* (više od 20 kHz). Za titranje frekvencija viših od  $10^{10}$  Hz ponekad se rabi naziv *hiperzvuk*.

Fizikalnim osnovama nastajanja, rasprostiranja i primanja zvuka bavi se *akustika*, grana znanosti o zvuku kao fizikalnoj pojavi i osjetnom doživljaju sluha u čovjekovoj svijesti (v. *Akustika*, TE 1, str. 56). Elektroakustika je grana elektrotehnike koja se bavi teorijskim i praktičnim problemima pretvorbe zvuka u električne titraje i obratno. Iako se bavi pretežno zvukom, u dijelu se fizikalne ili objektivne akustike tumače karakteristične fizikalne veličine objektivne akustike (v. *Elektroakustika*, TE 4, str. 298).

Povijest akustike seže duboko u prošlost, do grčkih istraživača koji su proučavali glazbala i zvučne odnose. Već je Aristotel (–384–322) pretpostavio da je zvuk valno gibanje, ali se tek u doba G. Galileja (1564–1642) definiraju osnovni zakoni rasprostiranja zvuka i mjeri njegova brzina u zraku. Dalja su istraživanja bila mnogo intenzivnija, osobito poslije Newtonove objave matematičke teorije zvuka.

Pošto je ustanovljeno da zvučni valovi nisu samo u području čujnih frekvencija, počinje intenzivno istraživanje infrazvuka i ultrazvuka, osobito piezoelektričnih i magnetostrikcijskih pretvarača, na kojima se danas temelji široka primjena ultrazvuka.

Za vrijeme Prvog svjetskog rata istraživanja su bila usmjerena na primjenu ultrazvuka u navigacijske svrhe i unapređenje tehnike otkrivanja podmornica. Tijekom Drugoga svjetskog rata i nakon njega, zbog naglog razvoja zrakoplova i svemirskih letjelica te nuklearnih elektrana, istraživanja su usmjerena na primjenu ultrazvuka u defektoskopiji u svrhu provjere kvalitete materijala i konstrukcija.

Primjena infrazvuka i ultrazvuka u svrhu fizikalnog djelovanja na materijale novijeg je datuma, iako se takvo djelovanje zvuka spominje još u Bibliji, u vezi s osvajanjem grada Jerihona.

Danas ultrazvuk postaje sve važniji u medicinskoj dijagnostici i terapiji, hidroakustici i defektoskopiji, a također u tehnici čišćenja, rezanja i zavarivanja materijala.

## FIZIKALNE OSNOVE ULTRAZVUKA

Ultrazvuk se može generirati na više načina, već prema primjeni, a i registrira se najčešće na istom principu na kojem se i stvara. Istražuje se i način stvaranja i registriranja ultrazvuka u kojem je moguće bezdodirno ispitivanje ili mjerenje, pri čemu se ultrazvuk ne unosi u predmet, nego se u njemu stvara. Sklop koji služi za pretvaranje nekog oblika energije u ultrazvuk i obrnuto, naziva se pretvarač ili pretvornik.

**Ultrazvučni pretvarači.** Najpoznatiji su i najčešće se primjenjuju sljedeći načini stvaranja ultrazvuka: piezoelektrični, magnetostrikcijski, elektrostatički i elektrodinamički način te stvaranje mehaničkom pobudom i toplinskom pobudom.

*Piezoelektrični pretvarač.* Francuski fizičar P. Curie otkrio je 1880. svojstvo nekih tvari da stvaraju električni potencijal kada se podvrgnu mehaničkom pritisku (v. *Kristalografija*, TE 7, str. 379). Razlog je tome deformacija njihove karakteristične strukture i takav raspored među atomima da na suprotnim površinama nastaju raznoimeni električni potencijali. Godinu dana potom G. Lippmann, također francuski fizičar, uočava povratnost tog svojstva nazvanog *piezoelektričnom pojavom*: ako se tijelo piezoelektričnih svojstava stavi u električno polje, ono se geometrijski