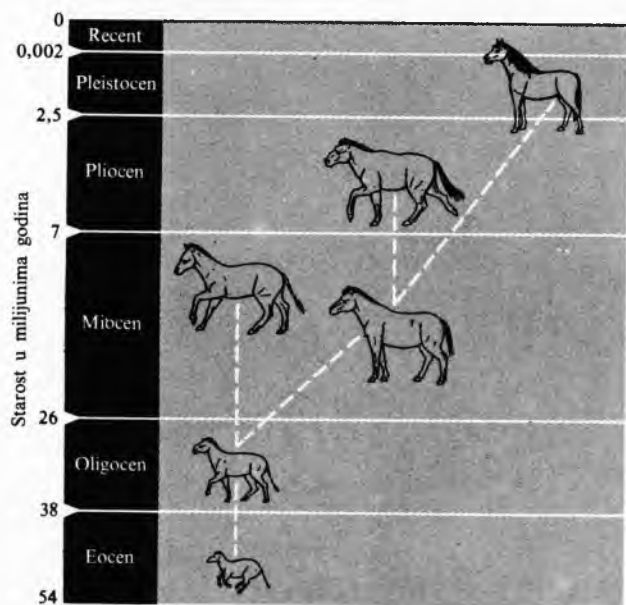


Ptice (Aves) pojavljuju se posljednje od svih kralješnjaka u gornjoj juri. Praptica *Archaeopteryx* (sl. 5e) nosi uz izrazito ptičje i niz gmazovskih odlika. Tako je to prijelazni tip u filogenetskom razvoju. Kredne i kasnije ptice mnogo se razlikuju od praptica. U eocenu se pojavljuju prve trkačice.

Sisavci (Mammalia) razvili su se od gmazova u trijasu. U juri i kredi bili su sitnijeg rasta i imali su primitivne karakteristike. Naglo se razvijaju u kenozoiku (doba sisavaca) i danas su na vrhuncu razvoja. Najstariji fosilni tobolčari (*Marsupialia*) poznati su iz gornje krede. U geološkoj prošlosti bili su veoma rasprostranjeni. Placentalni sisavci naglo se razvijaju u tercijaru, zahvaljujući svojoj inteligenciji i prikladnijem načinu održavanja vrste. Kukcožderi (*Insectivora*) pojavljuju se u kredi i najprimitivniji su placentalni sisavci; predstavljaju ishodišnu skupinu plodvaša (*Placentalia*), bitnih za razvoj svih sisavaca. Od zvijeri (*Carnivora*, *Fissipedia*) prazvijeri (*Creodontia*) su najstarije (paleocen—miocen). Zvijeri (*Miacidae*, psi — *Canidae*, medvjedi — *Ursidae*, hijene — *Hyaenidae*, mačke — *Felidae* i dr.) razvijaju se od gornjeg eocena. Jedna od rijetkih izumrlih razvojnih linija mačaka jesu *Machairodontidea* (gornji oligocen—pleistocen). Perajari (*Pinnipedia*) su zvijeri prilagođene životu u vodi. Fosilno su poznati od miocena. Kitovi (*Cetacea*) i morske krave (*Sirenia*) također su adaptirani životu u moru. Među kopitarima (*Ungulata*) neparnoprstaši (*Perissodactyla*) su napredna grupa, većinom velika rasta i različita načina života (nosorozi — *Rhinoceroidea*, konji — *Equoidea*). Unutar te grupe ima više filogenetskih nizova, od kojih je najpoznatiji i najbolje proučen razvojni niz konja (sl. 6). Parnoprstaši (*Artiodactyla*) počinju se razvijati u donjem eocenu. Obuhvaćaju neke izumrle skupine (*Paleodonta*, *Bunoselenodontia* s antrakoteridama, dok su druge (jeleni — *Cervidae*, goveda — *Bovidae*) postigle vrhunac razvoja tek u kvartaru. Među fosilnim sisavcima dobro je proučena skupina rilaša (*Proboscidea*). Poznat je filogenetski niz mastodontida. Glodavci (*Rodentia*) su danas na vrhuncu razvoja.



Sl. 6. Filogenija konja (*Equidae*)

Primati (Primates) razvili su se od kukcoždera u paleocenu. Paleontologija primata veoma je detaljno razrađena, a osobito dio koji obuhvaća ljude (*Hominidae*). Dio paleontologije koji prikazuje porijeklo i filogeniju čovjeka, morfologiju fosilnih hominida i na temelju ostataka donosi zaključke o životu i kulturi fosilnih hominida naziva se *paleoantropologija*.

Praktično značenje paleontologije. Paleontologija se primjenjuje u stratigrafskim istraživanjima radi utvrđivanja relativne starosti stijena. Jedna je od najznačajnijih njenih praktičnih primjena u korelaciji sedimentnih naslaga. Stijene istoga lito-

loškog sastava, taložene u istim uvjetima i u isto vrijeme, obično sadrže iste fosile. Premda fosili određuju relativnu starost stijena, oni označuju i određeni položaj u kronostratigrafskoj ljestvici. Na osnovi utvrđene starosti može se izvršiti korelacija naslaga na većoj ili manjoj udaljenosti. Korelacija je važna za geološko kartiranje, koje se upotrebljava u razne svrhe, a bitno je u istraživanju nafte, u hidrogeologiji i inženjerskoj geologiji. Novija istraživanja, osobito u mikropaleontologiji, pokazuju da korelacija može biti veoma detaljna. *Mikropaleontološka* istraživanja posebno su pogodna pri analiziranju fosilnog sadržaja u bušotinama. Makrofaunistički ostaci rjeđe se zahvaćaju profilom bušotine, često su oštećeni i nedovoljni za odredbu, dok samo malen komadić stijene može sadržavati brojnu asocijaciju mikrofosila. Upravo se zbog toga mikropaleontologija kao grana paleontologije posebno razvila u okviru naftnih istraživanja. Druga mikropaleontološka disciplina, *palinologija* (analiza polena i spora), osobito se primjenjuje pri istraživanju ugljena. Na osnovi kvalitativnog i kvantitativnog sadržaja polena i spora izrađuju se palinospetri koji su osnova za korelaciju ugljenih naslaga. I druge paleontološke metode imaju široku primjenu u istraživanju različitih mineralnih sirovina.

Za utvrđivanje tektonskih odnosa određenog područja fosili su posebno važni. Pomoću njih se može pratiti prirodni slijed naslaga, a i poremećeni odnosi uvjetovani tektonskim pokretima. U novije vrijeme fosili pridobivaju značenje u tumačenju tektonike ploča. Prema ostacima fosila nađenim na pojedinim kontinentima objašnjava se nekadašnja povezanost kontinenata, odnosno njihovo razdvajanje u geološkoj prošlosti.

Paleontološki podaci omogućuju i izradbu paleogeografskih karata koje pokazuju geografske odnose pojedinih vremenskih intervala tijekom geološke prošlosti. Oni mogu poslužiti i pri izradbi paleoklimatoloških karata. Fosili su indikatori uvjeta sredina u kojima su nastale stijene. Upoznavanje sredina sedimentacije veoma je važno u geologiji, posebno za utvrđivanje ležišta mineralnih sirovina.

Biogeno-kemijska aktivnost organizama utječe na stvaranje sedimentata, a kad se nakupi mnogo organizama, nastaju stijene biogenog porijekla. Njihovo je značenje višestruko. Tako koraljni grebeni i neke druge biogene stijene svojom primarnom šupljikavošću u određenim prilikama mogu biti kolektori nafte ili mjesta odlaganja drugih korisnih mineralnih sirovina. Riblji škriljanci se upotrebljavaju u farmaciji za izradbu nekih preparata (Ichthyol ili Gyrodal). Veće nakupine ljušturica fosila mogu se iskorištavati i upotrijebiti kao dodatak hrani za ptice. Stijene koje sadrže fosile veoma su cijenjene u građevinarstvu kao ukrasni kamen.

Značenje paleontologije vidi se i u tome što je ona historijska znanost. Fosilni ostaci pružaju osnovne podatke nauci o evoluciji. Paleontologija omogućuje praćenje evolucije većine grupa organizama, u nekim primjerima i veoma detaljno (npr. evolucija konja). Premda još uvijek ima praznina u poznavanju razvoja organizama, fosilni ostaci nesumnjivo daju jedinstvenu osnovu evolucije živog svijeta.

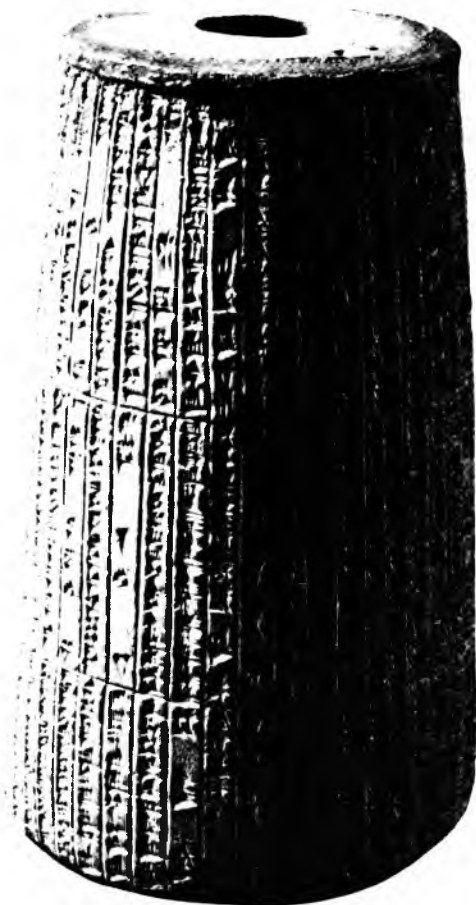
LIT.: V. Kochansky-Devide, Paleozoologija. Školska knjiga, Zagreb 1964. — A. L. McAlester, The History of Life. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J., 1969. — E. Thienius, Fossils and the Life of the Past. English Universities Press, London, Springer-Verlag, New York-Heidelberg-Berlin 1973. — R. W. Fairbridge, D. Jablonski, The Encyclopedia of Paleontology. Dowden, Hutchinson & Ross, Stroudsburg, Pa., USA, 1979.

A. Sokač

PAPIR, tanka plosnata tvorevina, načinjena prepletanjem vlakana uglavnom biljnog porijekla. Papir je dobio ime prema tropskoj trajnici, biljci *Cyperus papyrus*, od koje se u davnini, prvobitno u Egiptu, izrađivao materijal za pisanje. Pronalazak papira jedan je od glavnih i prijelomnih momenata u razvoju i širenju ljudske misli, kulture i civilizacije. Papir se u prvo vrijeme upotrebljavao samo za pisanje. Danas je bez papira gotovo nemoguće zamisliti civilizirani svijet i život suvremenog

čovjeka. Osim za pisanje, papir nalazi mnogostruku upotrebu od materijala za ambalažu i za prekrivanje zidova do najvažnije upotrebe u tiskanju knjiga, časopisa i novina.

Koliko je staro čovječanstvo, toliko su stara i ljudska nastojanja da dogadaje u svojoj okolini prikažu u nekom obliku, slikovno ili pismeno. Pećinski su stanovnici prije više od 25000 godina crtali životinje i različite znakove po pećinskim zidovima. Kameni blokovi i pločice bili su dalji korak u napretku i mogućnosti pisanja. Radi lakšeg pisanja prešlo se tokom vremena na glinene blokove (sl. 1) i pločice (sl. 2), zatim na pločice od mekog drveta ili drveta prevučenog voskom (sl. 3).



Sl. 1. Natpis na glinenom valjku iz vremena babilonskog kralja Nebukadnezara II (←VII/VI st.)

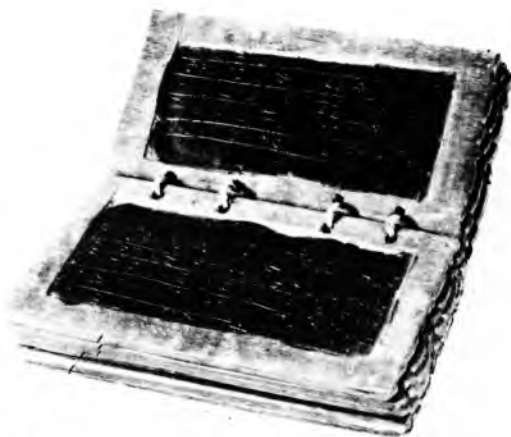
Egipćani su prije 4000 godina pronašli prikladniji materijal za pisanje. Bio je to papirus dobiven od istoimene biljke iz porodice šiljeva. Biljnu srčiku rezali su u duge tanke trake i ukrštali ih, a prešanjem i lupanjem istisnuli sok služio je kao ljepilo. Taj materijal (sl. 4) bio je nakon egaliziranja, sušenja i poliranja kao čvrsto vezani dvosloj vrlo čvrst i podatan, tako da se, osim za pisanje, mogao upotrebljavati i u mnoge svrhe. S obzirom na furnirsku strukturu papirus ima s današnjim papirom samo sličnost u imenu.

Dalji napredak i olakšanje u pisanju slova bile su depilirane, uglačane i osušene teleće, ovčje i kozje kože nazvane pergamentom, a bile su poznate na Bliskom istoku već potkraj ←II stoljeća. Pergament je dobio ime po antičkom gradu Pergamu, nekadašnjem središtu helenizma u Maloj Aziji. Upotreba pergamenta proširila se uskoro po čitavom Zapadu. Redovnici su bili glavni potrošači pergamenta i imali su, npr., u samostanu u Sankt Gallenu radionice za izradbu pergamenta. Kao materijal za običnu upotrebu pergament je bio nepriladan i vrlo skup, pa ga u kasnom srednjem vijeku sve više potiskuje papir.

Smatra se da se papir u današnjem smislu te riječi pojavio u Kini. Kinezi su već ranije upotrebljavali svilene tkanine po kojima se moglo pisati tušem pomoću kista. Godine 105. zaslugom kineskog ministra Tsai Luna uveden je postupak kojim su se biljna vlaknaca izluživala iz biljnog tkiva. Kao izvor vlaknaca upotrebljavali su čajure svilene bube, bambusove prutove, rižinu slamu, konoplju, lan te koru nekih vrsta tamošnjih biljaka. Taj vlaknasti materijal drobili su i usitnjavali zajedno s komadima starih ribarskih mreža i starih krpa u kamenim posudama pomoću drvenog bata. Tako smrvljenoj masi dodavali su vodu i vapneni lug, a nastalu kašu cijedili su na situ od bambusovih prutića i svilenih vlaknaca. Laganim tresenjem sita masa se u drvenom okviru jednolično rasporedila, a suvišna voda ocijedila kroz sito. Tako su se vlakna ispreplela i nastao je list, koji su pažljivo skinuli sa sita i sušili na ravnim daskama ili na zidu. Listove su zatim slagali u svežnjeve, prešli i premazivali ljepilom i ponovno sušili. Nakon toga su na glatkim kamenim pločama listove glačali slonovom kosti da bi postali sjajni i potpuno glatki.



Sl. 2. Glinena pločica za pisanje i pločica s glinenom omotnicom; babilonsko klinasto pismo (oko ←2300. god.)



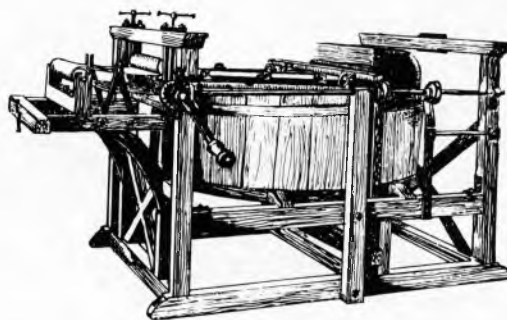
Sl. 3. Grčke voštane pločice (gore) i rimska voštana pločica (dolje), u sredini metalna pisaljka

Dugi niz godina Kinezi su tajnu proizvodnje papira zadržali unutar granica svoje države. Tek u VII st. uvedena je preko Koreje vještina izradbe papira u Japan, odatle je u VIII st. prodrila preko Mongolije i Perzije u Samarkand (Uzbekistan), a zatim za nju doznaju Arapi i Mauri. Oni su u izradbi papira još više napredovali. Mjelo se pomoću mlinskih kamena na vodeni pogon, a umjesto krhkih bambusovih prutica i svilenih vlaknaca načinili su otpornija sita, usavršili postupak keljenja škrobom, premazujući njime obje strane lista, te uveli bojenje papira. Kao sirovina služile su im uglavnom stare krpe, pamuk i još neke biljke vlaknate. U Samarkandu nalazila se već 751. godine prva radionica papira, u Bagdadu 794, u Kairu oko 900, i u Fesu (Maroko) oko 1100. godine. Iz Azije preko Afrike proširila se vještina izradbe papira na Siciliju i južnu Španjolsku i dalje na evropsko područje.



Sl. 5. Izradba papira krajem XVII st.

kamena uz dodatak vode. Ta se masa mogla kao sirovina dodavati masi od krpa (u udjelu i do 60%). On je svoj pronalazak patentirao 1848. godine, ali je prikladniji i upotrebljiviji postupak za primjenu drveta kao sirovine pronašao 1863. godine Amerikanac Tilghman.



Sl. 6. Prvi stroj za proizvodnju papira (prema L. Robertu, 1799. god.)

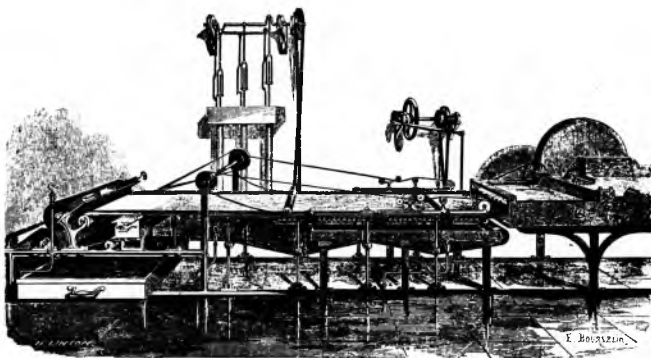
Sl. 4. List papirusa iz ~III st., nađen 1828. godine u blizini Tebe

Evropske radionice preuzele su posve arapski način proizvodnje papira. Tadašnji postupak bio je naporan i dugotrajan. Kao sirovine služile su stare lanene i pamučne krpe, koje su se prvo čistile i bijelile, a zatim stavljale u kamene posude, zalile vodom i ostavljale nekoliko dana da se namaču. Nakon toga krpe bi sjeckali, nastalu kašu ocijedili u košarama, a potom je udarali batovima na vodeni pogon tokom 10...12 sati uz dodatak vapna. Tako smrvljenu kašu stavljali su u drvene posude, u kojima bi ostajala 2...3 tjedna da se zgusne. Taj poluproizvod zagrabili bi majstori u uokvirena sita i tresli da jednolično prekrije sito i da se voda ocijedi (sl. 5). Preostala voda istisla bi se pod prešom, a vlažne listove vješali bi na užad ili drvene stalke da se potpuno osuše.

S Gutenbergovim pronalaskom tiska 1440. godine u Mainzu i s pojavom reformacije porasla je potražnja za papirum kao prikladnim nosiocem tiska. Svi do tada poznati postupci za dobivanje papira bili su ograničeni na sirovine od čahura svilenе bube, dudove kore, rižine slame, ramije, bambusa, konoplje i starih lanenih krpenih otpadaka. Te sirovine nisu mogle potpuno zadovoljiti potrebe za papirum. Nijemci Brückmann i Kircher predlagali su 1678. godine azbest kao sirovinu za izradbu papira, a francuski fizičar R. A. Ferchault de Reaumur htio je 1719. godine proizvoditi papir od drveta, ali u tome nije uspio. Botaničar Ch. Schäffer pokazao je na mogućnost upotrebe različitih biljnih sirovina u proizvodnji papira, dok su M. Koops i C. L. Engelmann proizveli papir od slame. Schäffer je 1765. godine u Regensburgu bezuspješno pokušavao različitim postupcima kuhanja mahovine, hmelja i krumpira dobiti sirovinu za izradbu papira. F. G. Keller, tkalački stručnjak iz Saske, dobio je 1845. godine vlaknastu gustu drvenu masu (drvenjaču) brušenjem drveta između brusnih

Naprave za izradbu papira bile su sve do XVII st. vrlo primitivne. Upotreba vodene energije kao pogona uređaja za mljevenje na principu mlinskog kola bila je, zapravo, jedina mehanizacija te skoro samo ručne proizvodnje sve do XIX stoljeća. Nakon što su Holandani 1670. godine konstruirali uređaj za mljevenje, koji se sastojao iz valjka s noževima i osnove u jednoj posudi, postignut je znatan napredak jer je bila ubrzana priprema vlaknaste mase. Prekretnica je u proizvodnji papira 1799. godina, kad je Francuz L. Robert konstruirao prvi stroj za izradbu papira. Taj je stroj mogao proizvesti papirnu traku dugu i do 15 m (sl. 6). Taj su pronalazak usavršili Francuzi, braća H. i S. Fourdrinier i Englez B. Donkin, pa je tako nastao stroj sposoban za formiranje papirnog lista odvodnjavanjem, prešanjem, sušenjem i namatanjem papira u kontinuiranom postupku. Taj se stroj nazivao prema svojim pronalazačima (Fourdrinier), a u Njemačkoj se udomačio naziv Langsiebmachine, prema dugolastom obliku sita (sl. 7). Skoro istodobno (1805) konstruirao je Englez J. Bramah sličan stroj s valjkastim sitom, a usavršili su ga F. Leistenschneider i A. Kelerstein u razdoblju od 1814. do 1819. godine. Tako je dvadesetak godina nakon Robertova pronalaska ručna izradba papira u malim kućnim radionicama prerasla u industrijsku proizvodnju.

Razvoj industrije papira u nas. S pojavom i širenjem reformacije početkom XVI stoljeća porasla je potreba za papirom u cijeloj Evropi. Ideje protestantizma zahvatile su i naše krajeve, posebno područje današnje Slovenije i zapadne Hrvatske. Dotadašnje male količine papira, dopremane pretežno iz Italije, nisu više bile dovoljne i uskoro se započelo s izradbom papira na vlastitom tlu. Prvu radionicu papira zanatskog tipa izradio je 1579. godine Janž Kinsl, ugledna ličnost toga vremena i zaštitnik protestantske književnosti, na desnoj obali rijeke Ljubljanice u Fužinama podno Ljubljane. Bio je to klasičan mlin za proizvodnju papira iz krpenih otpadaka, u kojemu je majstor Pankrac iste godine izradio prvi list papira u nas. Kasnije je potražnja za papirom ponovno opala jer se protureformacija više oslanjala na govornu nego na pisanu i tiskanu propagandu.



Sl. 7. Pokretno dugo sito starog papirnog stroja (oko 1850. god.)

Potkraj XVII st. postojao je mlin za papir u blizini Vipave, o kojemu se ne zna mnogo. Više je poznato o mlinu za papir u Žužembergu, što ga je Anton Nikel oko 1716. godine preuređio od nekadašnjeg mlinu za žito. Mlin je imao godišnji kapacitet oko 1000 rizmi (što je tada bilo 479000 araka), a podmirivao je potrebe tadašnje Hrvatske i Vojne krajine. Taj je mlin oko 1792. godine preuzela obitelj Kleinmayer, modernizirala ga i pretvorila u manufakturu, a radio je sve do sedamdesetih godina prošlog stoljeća. Godine 1750. osnovana je radionica za izradbu papira u blizini Radeča kod Zidanog Mosta, koju je njen vlasnik Andrej Müller uzdigao do ozbiljnog konkurenta žužemberškoj radionici na tržištu Štajerske i zapadne Hrvatske. Početkom XIX st. pretvorena je radionica kod Radeča u manufakturu, a 1880. godine preuređio ju je ondašnji vlasnik Valentin Krisper u dobro opremljenu tvornicu i prodao braći Piatnik. Ta tvornica radi i danas. Tomaž Kumar izgradio je 1767. godine u Ajdovščini najveći dotadašnji mlin za papir u nas, s godišnjom proizvodnjom 6–7 tisuća rizmi papira. U početku se u tom mlinu proizvodilo oko 12 vrsta papira, zatim 32 vrste, a oko 1775. godine i 40 različitih vrsta papira, pa je ta radionica kasnije postala jedna od najpoznatijih u Austro-Ugarskoj. U Podgori kod Gorice na Soči proradio je 1795. godine mlin za papir, vlasništvo grofa Thurna, što je oko 1841. godine prerastao u manufakturu sa 67 radnika, a zatim 1859. godine u industrijsko postrojenje.

Početkom XIX st. postojale su na Rijeci manje radionice papira. Na mjestu današnje tvornice papira izgradio je 1821. godine Andrija Adamich mlin za papir, koji već oko 1830. godine poprima industrijsko obilježje i uskoro postaje jedan od prvih i najvažnijih proizvođača papira na austrougarskom području. Godine 1845. to poduzeće već radi sa tri stroja za proizvodnju papira i zapošljuje oko 300 radnika, pa se može smatrati da je to bila prva naša industrijska proizvodnja papira.

Industrijsko poduzeće, od kojeg se kasnije razvila industrija papira Vevče-Goričane-Medvode, utemeljeno je 1842. godine. Od 1889. do 1907. godine tvornica u Radečama modernizirana je i razvila je proizvodnju dokumentnog i finog papira. U Slatkom Vrhu je Feuerlöschner počeo 1871. godine graditi tvornicu papira i tako postavio temelje kasnije poznate tvornice omotnih papira i ljepenke. Od tvornica papira koje su izgrađene potkraj XIX st. valja spomenuti i tvornicu papira u Trzinu, utemeljenu 1881. godine kao Tovarna lesne ljepenke.

U Hrvatskoj se s izradbom papira započelo u Dubrovniku oko polovice XVII stoljeća. U Zagrebu je od 1772. godine postojao mlin za papir, u Novoj vesi, a 1895. godine započela je u Zagrebu tvornica papira redovitu proizvodnju s jednim strojem. Nakon prvoga svjetskog rata podignute su tvornice papira u Količevu 1920. godine te u Beogradu i Čačku 1930. godine.

Svršetak drugoga svjetskog rata i oslobođenje zemlje zateklo je našu industriju papira potpuno zapuštenom. Usporedno s obnovom i industrijalizacijom zemlje započela je rekonstrukcija starih i gradnja novih proizvodnih kapaciteta industrije papira. Tako su izgrađene tvornice papira i celuloze u Krškumu i Prijedoru 1950, u Maglaju 1955, Lipljanu 1959, Belišću 1960, Banjoj Luci 1960, Sremskoj Mitrovici 1963, Ivankogradu 1964, Vladičinu Hanu 1964, Kočanim 1965, Drvaru 1965, Plaskom 1966, Skoplju 1969, Novom Kneževcu 1979. i Czinu 1979.

SIROVINE ZA PROIZVODNJU PAPIRA

Papir se proizvodi u prvom redu od biljnih celuloznih vlaknaca, a mnogo se rjeđe u tu svrhu upotrebljavaju vlakna mineralnog ili sintetskog porijekla.

Celuloza je u prirodi najrasprostranjeniji ugljikov spoj. To je ugljikohidrat s velikom relativnom molekulnom masom. Većinom se nalazi u obliku vlaknaca, koja su vrlo čvrsta, netop-

ljiva u vodi, slabim kiselinama i lužinama te u organskim otapalima. Celuloza nastaje u prirodi fotosintezom i čini gotovo polovinu tvari od koje su građene stijenke stanica u drveću i jednogodišnjim biljkama. O kemijskim i fizikalnim svojstvima celuloze v. *Celuloza*, TE 2, str. 564.

Za proizvodnju papira upotrebljava se tzv. tehnička celuloza, koja osim čiste celuloze sadrži manji ili veći udjel hemi-celuloze i lignina te neznatne količine smole, voskova i mineralnih tvari.

Hemiceluloza je naziv za mnoge prirodne polisaharide koji se pojavljuju u stijenkama biljnih stanica. Maseni udjel hemiceluloze u drvetu lišćara iznosi 18–26%, dok je u četinara nešto manji na račun većeg udjela lignina. Neke jednogodišnje biljke sadrže i više od 30% hemiceluloze. Hemicelulozu je teško izolirati u neoštećenom i prirodnom stanju, pa je njena struktura slabo poznata. Relativna molekularna masa hemiceluloze obično je mnogo manja od relativne molekularne mase čiste celuloze. Uzorci hemiceluloze iz različitih biljnih izvora rijetko su identični, iako pokazuju mnogo zajedničkih svojstava. Općenito je hemiceluloza topljiva u alkalnim otopinama, dok u zagrijanim mineralnim kiselinama nastaje hidroliza i hemiceluloza se razgrađuje u pojedine polisaharide.

Hemiceluloza je u proizvodnji papira vrlo važna. Prisutnost hemiceluloze u vlaknastoj masi od koje se kasnije na papirnom stroju proizvodi papir utječe na bubrenje te mase i na povezanost vlaknaca, što u proizvedenom papiru rezultira povećanom čvrstoćom. Međutim, papir proizveden od vlaknaste mase s prevelikom udjelom hemiceluloze bit će prozirniji, previše krt i šuštav.

Osim celuloze i hemiceluloze drvena masa sadrži i mnogo lignina. To je visokomolekulni polimer složene građe, kojim su obložena celulozna vlaknaca u drvetu. Lignin je sa stanovišta proizvodnje papira nepoželjan pratilac celuloze i nastoji ga se iz nje ukloniti. Lignin daje celulozi odrvenjen karakter i sprečava bubrenje celuloznih vlaknaca, pa je mljevenje celuloze koja sadrži lignin znatno otežano. S obzirom na udjel lignina razlikuje se tvrda, normalna i mekana celuloza.

Celulozne sirovine

Kao glavni izvor celuloze za proizvodnju papira služi drvo, ali se također upotrebljavaju i pamuk, lan, konoplja, juta, sisal, kenaf, slama, bagasa, esparto, otpadni i stari papir i tekstilni materijal i sl.

Drvo. Da bi se dobila celuloza za proizvodnju papira, drvo se uglavnom prerađuje kemijski, a rjeđe samo mehanički. Prvim se postupkom dobiva drvena celuloza i poluceluloza, a drugim drvenjača.

Drvena celuloza. Udjel celuloze u drvenoj masi iznosi obično nešto više od 40%. Svrha je kemijskih postupaka za dobivanje celuloze iz drveta da se ukloni lignin, kako bi se drvena masa pretvorila u vlaknastu kašu. Glavni kemijski postupci, koji se razlikuju prema reagensima upotrijebljenim za delignifikaciju drveta, jesu sulfadni i sulfatni, dok je natronski postupak izgubio na važnosti i rijetko se primjenjuje (v. *Celuloza*, TE 2, str. 568).

Sulfatna celuloza proizvodi se obradom drveta (sječke) koje ne sadrži mnogo smole. To je uglavnom smreka, jela i topola. Odlika je sulfatne celuloze što je svijetle boje, pa se ponekad i u nebijeljenom stanju može upotrijebiti za proizvodnju nekih vrsta papira. Osim toga, lako se melje i može se po potrebi bijeliti i oplemenjivati. Sulfatna celuloza služi za proizvodnju tiskovnih, pisačkih, slikarskih i pergamin-papira itd.

Sulfatna celuloza proizvodi se postupkom koji je primjenljiv za preradu svih vrsta drveta (četinara i lišćara) bez obzira na količinu smole, pa i za preradu stabljika različitih trava. Odlikuje se dugim i čvrstim vlakancima, koja su manje oštećena nego u sulfatnoj ili natronskoj celulozi. Od sulfatne celuloze proizvodi se vrlo čvrst papir, koji u nebijeljenom stanju služi u prvom redu kao omotni papir, zatim kao kabelski i kondenzatorski papir, i sl.

Bijeljena sulfatna i sulfatna celuloza proizvodi se obradom oksidirajućim sredstvima. Neka od tih sredstava bijele celulozu razgrađivanjem obojenih primjesa, a druga samo prevode obojene

primjese u bezbojne. Pri tom se djelomično uklanja i preostali lignin, pa se dobiva vrlo kvalitetna celuloza, koja služi za proizvodnju pisaćih i tiskovnih papira, bankpost, ofsetnog i drugih vrsta finih papira i kartona.

Poluceluloza. Pod tim se nazivom razumijeva proizvod dobiven iskuhavanjem sječke lišćara uz dodatak natrij-sulfita (Na_2SO_3) i prolazom vruće, iskuhane sječke kroz defibrator za stvaranje vlaknaste kaše. U iskuhanoj sječki količina lignina smanjuje se na polovicu, što olakšava proces rastavljanja vlaknaca. Međutim, hemiceluloza se praktički ne razgrađuje. Zbog toga je iskorištenje drvene sječke u nebijeljenom stanju vrlo veliko (65...80%), pa upotreba poluceluloze predstavlja važno proširenje sirovišne baze u proizvodnji papira. Nebijeljena poluceluloza služi uglavnom za proizvodnju omotnih papira i papira za izradbu valovite ljepenke, dok se u bijeljenom stanju upotrebljava za pisaće i tiskovne papire.

Drvenjača. Tvorevina dobivena mehaničkom preradbom drveta, tj. brušenjem oblica oslobođenih kore, naziva se drvenjačom (v. *Drvo, kemijska preradba*, TE 3, str. 444). Razlikuju se dvije glavne vrste drvenjače: bijela i smeđa. Bijela se drvenjača proizvodi uglavnom od smreke, jele, topole i breze obradom uz dodatak vode. Smeđa drvenjača proizvodi se od četinaru brušenjem uz obradbu vodenom parom. Bijeljenjem smeđe drvenjače može se dobiti bijela drvenjača. Trajna bjelina postiže se bijeljenjem pomoću natrij-peroksida.

Papir s primjesom drvenjače mnogo je jeftiniji od bezdrvnog papira, ali je kvalitetno mnogo slabiji. Vlaknaca drvenjače su kratka, a zbog prisutnog lignina papir od drvenjače s vremenom požuti i postaje krt djelovanjem svjetlosti i vlage. Drvenjača kao sirovina upotrebljava se u velikim količinama za proizvodnju roto-papira, srednjefinog pisaćeg i tiskovnog papira, za neke vrste kartona i ljepenke itd. Pri tome je drvenjači skoro uvijek potrebno dodati određenu količinu drvene celuloze (15...20%) za bolje povezivanje vlaknaca.

Pamuk. Pamučna su vlakna suviše dugačka (10...50 mm) i preskupa za uobičajenu proizvodnju papira. Međutim, na ljusci sjemenke nakon odvajanja dugih vlakana zaostaju kratka vlakna duljine 4...6 mm, tzv. pamučni linter. Nakon uklanjanja površinskog voska zagrijavanjem u blagoj natrijevoj lužini, ispiranja i mljevenja dobije se vlaknasta masa za proizvodnju vrlo kvalitetnih i skupih papira jer se radi o sirovini s više od 92% čiste celuloze.

Lan i konoplja. Obradom dugačkog vlakna lana ili konoplje alkalnim postupkom na povišenoj temperaturi dobije se polutvorina s vlakancima duljine 5...50 mm. Takav se poluprodukt ne može izravno mljeti u suvremenim konusnim mlinovima, već se radi skraćivanja vlakana melje u holenderu. Papir od tako pripremljene sirovine dobro je formiran i čvrst, što je važno za izradbu kvalitetnog cigaretnog papira. Ranije se ta sirovina upotrebljavala za proizvodnju tankog i neprovidnog biblijskog papira za tiskanje vrlo skupih knjiga.

Juta, sisal i kenaf. Duga vlakna tih biljaka daju alkalnom obradom na povišenoj temperaturi kratka vlaknaca (3...5 mm), koja se lako melju u konusnim mlinovima i mogu se upotrijebiti umjesto sve manje raspoložive drvene celuloze. Stručnjaci u SAD predviđaju da će upravo kenaf postati u budućnosti vrlo važan u proizvodnji papira.

Slama. U mnogim dijelovima svijeta, u kojima nema dovoljno šuma, može i slama biti dobar izvor sirovine za proizvodnju celuloze i papira. Slama, kao sekundarni poljoprivredni proizvod (od pšenice, ječma, zobi i riže), jeftinija je od drveta, ali su njena vlaknaca mnogo kraća (0,5...2 mm). Zbog kratkoće vlaknaca i njihove finoće slamu namijenjenu proizvodnji papira nije potrebno mnogo mljeti, a prikladna je, uz dodatak drvene celuloze, za izradbu papira od kojih se ne traži veća čvrstoća.

Bagasa. To je ostatak u proizvodnji šećera iz šećerne trske, koji ostaje u obliku izlomljenih stabljika nakon ekstrakcije slatkog soka. Glavna poteškoća u preradbi bagase jest velika količina srži u stabljici (oko 30%). Nakon uklanjanja srške bagasa se može preraditi alkalnim postupkom i bijeliti, pa se dobiju kvalitetna celulozna vlaknaca duljine 1...2 mm prikladna za izradbu finih papira.

Esparto. To je biljka koja raste uz sjevernu obalu Afrike i u južnim predjelima Španjolske. Vlaknaca esparta slična su vlakancima slame, ali se razlikuju po sposobnosti zadržavanja veće količine punila, što omogućuje proizvodnju voluminoznijeg papira. Celuloza dobivena od esparta upotrebljava se za proizvodnju kvalitetnih bezdrvnih papira od kojih se traži čvrstoća i dobro formiranje lista.

Otpadni tekstilni materijal. Stare pamučne, lanene i jutene krpe bile su ranije vrlo cijenjena sirovina u proizvodnji papira. Prilikom preradbe krpe se najprije klasificiraju, rešetaju da se odstrani prašina, raščehavaju da se uklone čvorovi i rubovi, zatim se režu na komadiće veličine 5×5 cm. Izrezane se krpe još jednom otprašuju na stroju i odvođe u rotirajući kotao gdje se zagrijavaju s vapnenim mlijekom i natrijevom lužinom (rjeđe sodom) da se odstrane masnoće i nečistoće. Nakon toga se melju uz neprestano ispiranje vodom kako bi kasnije bijeljenje hipokloritom bilo što uspješnije. Kad voda od pranja postane bistra, započinje završno mljevenje poluproizvoda dok vlaknasta masa ne postane jednolična. Masa se zatim bijeli, temeljito ispiru i odvodnjuje na posebnom stroju s kraćim sitom. Od krpa ili smjese krpa i celuloze od drveta izrađuju se papiri od kojih se traži finoća i trajnost, a to su prije svega papiri za novčanice, za tiskanje vrijednosnih, dokumentnih i cigaretnih papira. U cjelokupnoj proizvodnji papira ta vrsta papira sudjeluje oko 2...4%.

Stari papir. Pod starim papirom podrazumijeva se papirni i kartonski otpadak, otiskan, isipan ili čist otpadak tiskara, upotrijebljena ambalaža od papira, kartona ili ljepenke različitog sirovinskog sastava, otpadak u procesu preradbe papira (rezanje, bušenje rupa itd.), neuvezani ili uvezani zastarjeli ili nepotrebnosti tiskani materijal (novine, časopisi, poslovne knjige, brošure) i papirni otpaci izdvojeni iz kućnog smeća. Da bi se pretvorio u vlaknastu masu, bijeli stari papir rezan u obliku uskih traka ne zahtijeva uglavnom nikakvu posebnu predobradbu ako nije impregniran (npr. da bi se postigla čvrstoća papira u mokrom stanju kao u vrećica za čaj). Tiskan i onečišćen papir potrebno je prvo očistiti od nečistoća i primjesa tiskarske boje. Dobro organiziranim sakupljanjem starog papira, u prvom redu iz sakupljačkih i proizvodnih poduzeća (tiskare, knjigovežnice, proizvodnja ambalaže), ustanova, arhiva i velikih robnih kuća, vraća se industriji papira oko 30...35% potrebnog vlaknastog materijala i time se veoma smanjuje potrošak osnovne sirovine (celuloze).

Ostale sirovine za proizvodnju papira

Umjetna (sintetska) vlakna mogu služiti kao sirovina za proizvodnju specijalnih vrsta papira. To su obično vrlo tanka vlakna duljine 4...6 mm. Osim celuloznih derivata, u papir se prerađuju i druga sintetska vlakna, najčešće poliamidna i polieterska (v. *Vlakna*). Dobra mehanička svojstva takvih papira postižu se dodatkom posebnih veziva.

Anorganska vlakna. Od anorganskih se vlakana također proizvode neke specijalne vrste papira. Takvi su, npr., papiri izrađeni od staklenih niti ili od niti čistog kremena. Ti su papiri otporni prema kemikalijama te služe za filtraciju plinova i tekućina, a upotrebljavaju se i za električnu izolaciju. *Azbest* je također jedna od mineralnih sirovina u industriji papira. Azbestni papir i ljepenka cijenjen je i skup izolacijski i brtveni materijal. Azbestna vlakna daju takvom materijalu posebna svojstva, pa se on upotrebljava prilikom pokrivanja krovova kao zaštitni sloj protiv požara, za toplinsku i električnu izolaciju, i sl.

PROIZVODNJA PAPIRA

I pored velikih razlika u načinu proizvodnje papira, od jednostavne ručne izradbe do golemih i brzih kompjutoriziranih papirnih strojeva velikih kapaciteta, osnovni princip izradbe papira nije se u posljednjih 2000 godina bitno izmijenio. Proizvodnja papira sastoji se uglavnom od različitih mehaničkih operacija, ali je i kemijski aspekt procesa bitno važan za kvalitetu gotovog proizvoda. Stvaranje papira iz vodene suspen-

zije celuloznih vlaknaca moguće je zbog sposobnosti celuloze da svoje poliglukoze molekulske lance međusobno povezuje vodikovim vezama. Dok se u suspenziji takve veze neprestano stvaraju i opet kidaju, ostaju one u suhoj tvari stalne i čvrste te omogućuju formiranje ravnog i relativno čvrstog lista papira.

Proizvodnja papira sastoji se od tri glavne faze rada: pripreme vlaknaste mase, formiranja lista na papirnom stroju i doradbe.

Priprema vlaknaste mase

Pod pripremom vlaknaste mase razumijeva se prevođenje poluproizvoda za proizvodnju papira (drvenjače, drvene celuloze, poluceluloze, celuloze od slame, otpadnog tekstila i starog papira) u stanje i oblik prikladan za formiranje trake papira na papirnom stroju. Ako se celuloza, kao najčešći i osnovni poluproizvod u proizvodnji papira, ne doprema u tvornicu papira u obliku vodene suspenzije, već se nalazi u čvrstom stanju u obliku bala ili kotura, potrebno ju je prevesti u suspenziju. To se provodi pomoću jakih i brzih turboagitatora, pa se dobiva jednolična 3...7%-tna vodena suspenzija. Svrha je tog postupka da se vlaknaca međusobno odijele i dispergiraju u vodi. Osim toga u tom se obliku s poluproizvodom lakše manipulira, on se može lakše transportirati, mjeriti, miješati s dodacima i mehanički obraditi. Međutim, celulozna vlaknaca u takvoj sirovoj vlaknastoj masi nisu još prikladna i spremna za proizvodnju kvalitetnog papira. Ako se vlaknasta masa s takvim nemodificiranim vlakancima dovodi na papirni stroj, dobit će se niskokvalitetan, mekan i porozan papir male čvrstoće zbog slabe povezanosti vlaknaca. Takav papir može služiti za filtriranje, ali je inače vrlo neprikladan za pisanje i tiskanje te je sasvim neupotrebljiv kao ambalaža. Zbog toga se prije formiranja papirnog lista na papirnom stroju vlaknasta masa mora prvo pripremiti. Pripremom se od sirove vlaknaste mase postupcima mljevenja, primješavanja dodataka (keljiva, punila, bojila) pročišćavanjem i razrjeđivanjem formira papirna smjesa (papirština), od koje se zatim na papirnom stroju proizvodi papir.

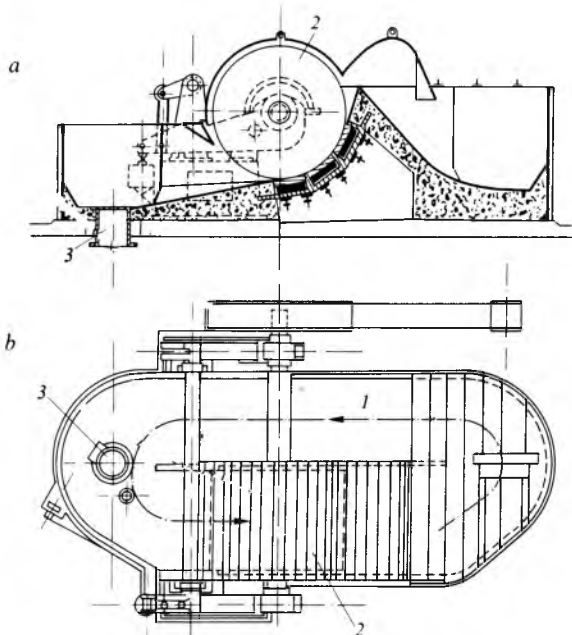
Mljevenje. Pod mljevenjem se razumijevaju mehaničke operacije, koje, iako izvedene na jednostavnim strojevima, mogu u celuloznim vlakancima uzrokovati i vrlo složene procese. Zbog toga je naziv mljevenje, kao tradicionalno uvriježeni naziv za te operacije, vrlo neprikladan i nepotpun. Tokom tzv. mljevenja celulozna se vlaknaca trgaju, čupaju i gnječe, pa se tako djelomično strukturno razgrađuju u mikrofibrile. Čini se

da pri tom ne nastupaju veće kemijske promjene, ali su fizikalne promjene vrlo velike. Ranije se smatralo da se vlaknaca hidriraju, ali je danas poznato da je proces mnogo složeniji. Iako ne nastupa hidratacija u kemijskom smislu, povećava se afinitet vlaknaca prema vodi, ona bubre i postaju podatlija i savitljivija. Zbog povećanja njihove površine i zbog promjena na njoj bitno se povećava sposobnost vlaknaca da se nakon sušenja međusobno povezuju. Tako se može dobiti gust, tvrd i čvrst papir, pa se pokazalo da mnoga fizikalna svojstva proizvedenog papira umnogome ovise upravo o načinu i trajanju mljevenja u toku pripreme vlaknaste mase.

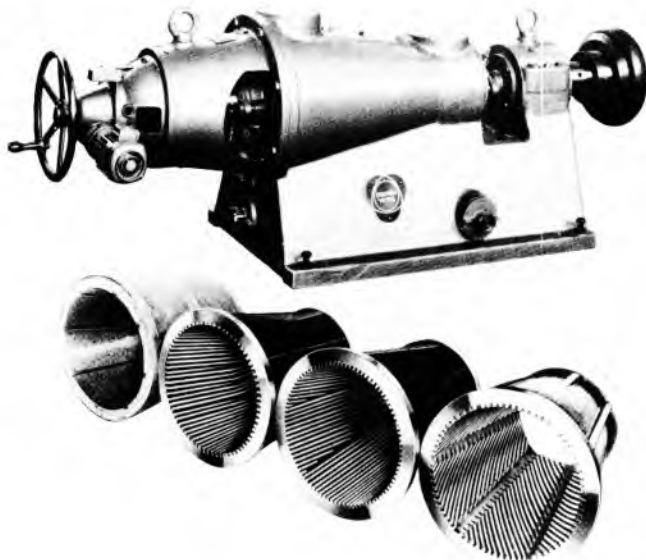
Za mljevenje se upotrebljava više vrsta strojeva. Dugo je u upotrebi bio samo jedan tip stroja, primijenjen u proizvodnji prvi put u Nizozemskoj oko 1690. godine i prema tome poznat po tradicionalnom nazivu *holender*. To je korito s pregradom u sredini koja omogućuje kružni tok suspenzije u koritu (sl. 8). Na jednoj je strani smješten rotirajući valjak s poprečnim uskim (oštrim) noževima koji se okreće iznad kućišta također opremljenog noževima. Cirkulirajuća vlaknasta masa prolazi između valjka i kućišta, a njihov razmak i širina noževa određuju intenzitet i učinak mljevenja. Holender obično može primiti 200...1000 kg mase, mljevenje može trajati od petnaestak minuta pa i do 10 sati, a masa se ubacuje i ispušta periodički. To je ujedno i najveći nedostatak tih strojeva jer se ne uklapaju u današnju automatiziranu proizvodnju papira.

Danas se upotrebljavaju strojevi, za kontinuirano mljevenje nazvani konusnim ili pločastim mlinovima.

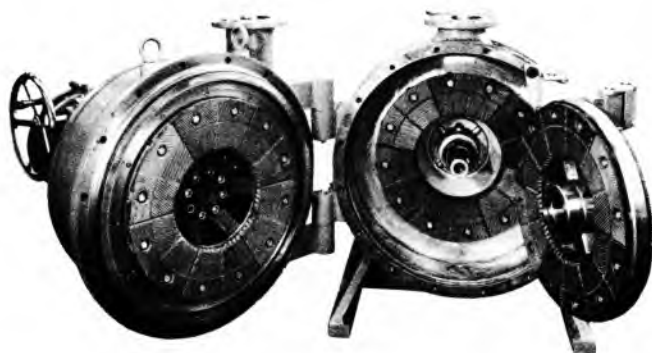
Konusni mlin (sl. 9) sastoji se od konusnog kućišta s pripadnim konusnim rotorom. Kućište i rotor imaju oštre noževe, a vlaknasta masa ulazi na užem i izlazi na širem dijelu mlina. Djelotvornost mljevenja ovisi o širini noževa i o razmaku između rotora i kućišta (statora), koji se po potrebi može podešavati.



Sl. 8. Holender, bokocrt i tlocrt. 1 korito, 2 valjak s noževima, 3 ispušt



Sl. 9. Konusni mlin za mljevenje vlaknaste mase



Sl. 10. Dvostruki pločasti mlin za mljevenje vlaknaste mase

Pločasti mlin (mlin s diskovima) opremljen je okruglim pločama (diskovima) s usađenim noževima između kojih se melje vlaknasta masa (sl. 10). Neki tipovi pločastih mlinova imaju dvije ploče, od kojih jedna rotira, dok u drugih rotira srednja od triju ploča (dvostruki pločasti mlin). Ploče se podesivom oprugom tlače jedna uz drugu, a njihove radne površine mogu biti obrađene i nazubljene na različite načine. Materijal za mljevenje ulazi kroz sredinu jedne od ploča, a izlazi na njihovu obodu.

Za razliku od mljevenja u holenderu, mljevenjem u konusnim i pločastim mlinovima dobije se vlaknasta masa boljih svojstava, koja se kasnije lakše obrađuje na papirnom stroju. Miješanjem razmaka među rotirajućim i mirujućim dijelovima mlinova i izborom vrste nazubljenja na njihovim površinama može se utjecati na kvalitetu mase. Tako je u gustom masi uz tupe (široke) noževe i veći razmak između rotirajućeg dijela mlina i kućišta mljevenje blaže, pa se vlaknaca ne skraćuju. Nasuprot tome, u rjeđoj masi, uz oštre (uske) noževe i manji razmak između rotirajućeg dijela i kućišta, mljevenje je drastičnije i ispoljuje se uglavnom u rezanju i skraćivanju vlaknaca.

Primješavanje dodataka. Različiti dodaci primješavaju se vlaknastoj masi najčešće već za vrijeme mljevenja. Nekim dodacima utječe se na ponašanje papirne smjese tokom formiranja papirnog lista i sušenja na papirnom stroju, dok se drugi dodaju da bi se proizvedenom papiru dala željena svojstva. Tri su glavne grupe dodataka što se primješavaju u vlaknastu masu prije formiranja papira: keljiva, punila i bojila.

Keljiva. Zahvaljujući dobroj kvasivosti celuloze i njenu kapilarnom sustavu, papir neobrađen keljivima lako upija tekućine. To je svakako poželjno svojstvo filtarskih papira i papirnatih ručnika, ubrusa i maramica, ali je inače nepogodno, posebno za omotne papire i pisače papire na kojima se piše tintom. Zbog toga se u proizvodnji papira upotrebljavaju keljiva koja sprečavaju razlijevanje i prodiranje tekućina, u prvom redu vode, u papir. Ta keljiva mogu djelovati na različite načine. Ona zbog svoje hidrofobnosti smanjuju kvasivost celuloze, popunjuju pore ili ih površinski zatvaraju, a to se djelovanje ispoljuje tek nakon sušenja papira po izlasku iz papirnog stroja. Dodavanje keljiva, tj. keljenje papira, može biti dvojako: keljivo se može dodavati za vrijeme mljevenja vlaknaste mase, ili se kasnije nanosi na površinu papira prolaskom skoro suhe papirne trake kroz prešu za keljenje, koja se nalazi pri kraju sušne sekcije papirnog stroja. Keljenje u masi pospješuje kasnije površinsko keljenje ili nanošenje drugih dodataka na površinu, npr. pri proizvodnji samokopirnih papira.

Prema količini upotrebljenog keljiva razlikuje se tzv. punokeljeni, polukeljeni i nekeljeni papir. Punokeljeni je pisači, crtači, fotografski, dokumentni, ofsetni, tapetni papir i sl. Među polukeljeni ili manje keljeni papir ubraja se papir za duboki tisak, obični tiskovni i omotni papir, dok je nekeljeni papir novinski, cigaretni, elektroizolacijski i filtarski papir.

Kao keljiva upotrebljavaju se različite tvari kao što su prirodne i umjetne smole, parafini, voskovi, tutkalo, kazein, škrob, silikoni, celulozni derivati i drugi. Potrebna količina keljiva ovisi o vrsti sirovine i o vrsti papira koji se proizvodi, a obično je maseni udjel keljiva 0,5...3% s obzirom na suhu celuloznu masu.

Za keljenje u masi najviše se primjenjuju keljiva na temelju prirodnih smola, od kojih je za te svrhe najvažniji *kolofonij*. Ta se smola dobiva iz različitih vrsta borova i smjesa je nekih smolnih kiselina, od kojih najviše ima abietinske kiseline, $C_{19}H_{29}COOH$. Kolofonij namijenjen za keljenje papira podvrgava se najprije djelomičnoj saponifikaciji pomoću natrij-hidroksida ili sode da bi se dobila pasta sa 70...80% čvrste tvari i s različitim udjelom slobodnih smolnih kiselina (obično 30...40%). Ta se pasta prije upotrebe razrjeđuje vrućom vodom uz snažno miješanje do 3%-tne disperzije i dodaje se vlaknastoj masi odjednom ili kontinuirano, za vrijeme ili nakon mljevenja. Dobro izmiješanoj smjesi vlaknaste mase i keljiva potrebno je dodati i sredstvo za taloženje i fiksiranje čestica keljiva na površinu celuloznih vlaknaca. Najčešće se za to upotrebljava aluminij-sulfat u suhom, samljevenom stanju ili u obliku otopine. Pri tome je kiselost smjese vrlo važna i pH mora biti 4,5...5,5. Točan mehanizam njegova djelovanja u tom složenom koloidnom

sustavu nije dovoljno poznat, ali se čini da su pri tom bitni naboji čestica pojedinih komponenata sustava. Prema pojednostavljenoj predodžbi, sloj pozitivno nabijenih aluminij-iona nalazi se između negativno nabijenih slojeva celuloznih vlaknaca i čestica keljiva, što uzrokuje njihovo međusobno povezivanje. Na temelju pretpostavke o zamjeni natrij-kationa aluminij-kationima u solima smolnih kiselina, potrebna teorijska količina aluminij-sulfata iznosila bi svega 1/3 količine keljiva. Međutim, u praksi ga se dodaje i 5...6 puta više od teorijske količine.

Upotreba aluminij-sulfata, kao sredstva za taloženje i fiksiranje keljiva na celuloznim vlakancima, ima i nedostataka. Naime, papir dobiven tim načinom pokazuje zbog prisutnog aluminij-sulfata kiselu reakciju ($pH \sim 4,5$). To ne dozvoljava dodatak nekih punila osjetljivih na kiseline (npr. kalcij-karbonat), a osim toga bitno utječe na postojanost papira jer uzrokuje polaganu i trajnu hidrolizu celuloze. Papir nakon nekog vremena požućuje, gubi čvrstoću, lako se kida i ubrzano propada, pa se ne može upotrijebiti za izradbu permanentnih papira, npr. za dokumente, vrijedne knjige i sl. U te se svrhe uspješnom pokazala primjena dimera alkilketena, koji reagira s hidroksilnim grupama celuloze i tako celuloznim vlakancima daje hidrofolbni karakter.

Ostala keljiva za papir rijetko se upotrebljavaju sama, već uz smolno keljivo služe kao dodaci za postizavanje nekih posebnih svojstava papira. Tako se škrob dodaje mnogim vrstama papira da bi se poboljšala neka njegova mehanička svojstva, krutost i gustoća, i da bi se povećala sposobnost primanja punila. Voštana keljiva dodaju se vlaknastoj masi prilikom proizvodnje voodopornih i voododbojnih papira. Keljivo na temelju sulfuriranih parafinskih voskova smanjuje istezanje papira, doprinosi glatkoći satiniranih papira i smanjuje prašenje strojnglatkih papira. Životinjsko tutkalo služi kao dodatak prilikom proizvodnje punokeljenih papira, a također se lako taloži na celuloznim vlakancima pomoću aluminij-sulfata. Za postizavanje veće čvrstoće papira u mokrom stanju vlaknastoj se masi nakon mljevenja dodaju melaminske i ureaformaldehidne smole, koje ujedno i povećavaju tvrdoću papira i njegovu otpornost prema povišenoj temperaturi. U posljednje se vrijeme za postizavanje hidrofobnih svojstava papira sve više upotrebljavaju organski spojevi silicija, u prvom redu silikoni.

Punila. Upotreba punila u proizvodnji papira smatrala se nekoć krivotvorenjem, dok je to danas stalna praksa, pa se, npr., u grafičkoj industriji više ni jedna vrsta papira ne upotrebljava bez punila. Punila poboljšavaju optička i fizikalna svojstva papira, daju mu svjetloću, mekoću i glatkoću, poboljšavaju mogućnost prijama tiska i neka druga svojstva, koja su osobito poželjna za pisače i tiskovne papire. Od punila se zahtijeva da njegove čestice budu po veličini podjednake, da sadrži što manje primjesa, u prvom redu pijeska, da površinu papira učini pogodnom za bilo kakvu doradbu, da je kemijski potpuno inertno i netopljivo, i da se može što više iskoristiti, tj. da se od upotrijebljene količine što više punila zadrži u papiru. Primjena mineralnih punila ima i ekonomsko značenje, jer se dio celuloznih vlaknaca nadomještava jeftinijom mineralnom supstancijom. Međutim, dodatkom punila papir gubi na čvrstoći i smanjuje mu se stupanj lijepljenja, pa količina mineralnih punila u papiru ne smije prijeći određenu granicu.

Količina punila u papiru određuje se prema količini pepela nakon spaljivanja. Prema udjelom pepela razlikuju se četiri vrste papira: Papiri s prirodnim udjelom pepela, tj. bez punila, jesu elektroizolacijski papiri, filtarski papiri, neke vrste papira za prehrambenu industriju koji ne propuštaju mast i sl. U papire s malim udjelom pepela (do 5%) ubrajaju se novinski papir, papiri za cigaretnu filtru, za zidne tapete itd. Papiri sa srednjim udjelom pepela (do 15%) jesu pisači papiri i neke vrste tiskovnih papira (ofsetni i litografski papiri), a u grupi papira s velikim udjelom pepela (> 15%) nalaze se tipografski papiri, papiri za duboki tisak i drugi.

Među najvažnijim su punilima kaolin, kreda, titan-dioksid, talk, barit i sintetski alumosilikati, ali se i mnoge druge tvari (cink-oksidi, cink-sulfid, litopon, sintetska organska punila) upotrebljavaju kao punila, uglavnom za izradbu specijalnih vrsta papira. Kaolin je prirodni alumosilikat koji se u proizvodnji

papira od svih punila najviše upotrebljava. S obzirom na čistoću, granulometrijski sastav i namjenu u upotrebi su različite vrste kaolina, a primjenjuju se u svim vrstama pisaačih i tiskovnih papira i kartona. Titan-dioksid vrlo je cijenjeno i traženo punilo s indeksom loma najvećim od svih punila i najbolje je sredstvo da se papir učini potpuno neprozirnim. Zbog toga se upotrebljava kao punilo za fine vrste bijelih papira, za tanke i biblijske tiskovne papire. Titan-dioksid povećava također i bjeloću papira, ali je neekonomično upotrebljavati ga samo u te svrhe. Talk ($3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) daje papiru bolju glatkoću i sjaj te ugodniji osjet pod rukom. Osim kao punilo talk se dodaje (oko 2%) u vlaknastu masu na početku mljevenja da se spriječi izdvajanje štetne smole iz sulfatne celuloze. Barit (BaSO_4) se upotrebljava kao punilo u obliku 30–40%-tne paste i poboljšava bjeloću papira, a zbog svoje velike gustoće osjetno povećava i njegovu težinu. Kreda (CaCO_3) daje papiru mekoću, smanjuje transparentnost i povećava plastičnost, pa tako poboljšava svojstva tiskovnih papira. Upotrebljava se i kao punilo u proizvodnji cigaretnog papira, jer je bez okusa i nakon izgaranja ostavlja bijeli pepeo. Gips (kalcij-sulfat) doprinosi ugodnijem osjetu papira pod rukom i povećava mu bjeloću, pa se može dodavati masi za proizvodnju pisaačih i tiskovnih papira. Međutim, relativno se rijetko upotrebljava jer je djelomično topljiv u vodi, pa uzrokuje neželjene popratne reakcije u papirnoj smjesi.

Bojenje papira. Mnoge vrste papira proizvode se kao obojeni papir. Pri tom se može bojiti vlaknasta masa ili površina već proizvedenog papira. Bojenje vlaknaste mase ima širu primjenu od površinskog bojenja, iako je tako potrošak bojila veći.

Prilikom bojenja vlaknaste mase bojila ili pigmenti mogu se dodavati na dva načina: diskontinuirano, tj. kao šarža u neki od strojeva za pripremu mase (agitator, holender ili mlin za mljevenje), ili se u obliku otopine ili suspenzije kontinuirano dodaju u masu na odabranom protočnom mjestu u postrojenju za pripremu vlaknaste mase. Diskontinuirani dodatak osigurava vrlo izjednačeno obojenje jedne šarže, dobro vezanje bojila ili pigmenta uz vlakanca, a i postupak je relativno jednostavan. Kontinuiranim se bojenjem brže postiže željena nijansa i izbjegavaju se male razlike u obojenju među šaržama.

Osim bojenja vlaknaste mase, papir se može bojiti i površinski nakon što je već formiran. To se provodi neposredno u papirnom stroju ili kasnije u posebnim strojevima, u kojima papirna traka putuje preko valjaka, od kojih su neki u dodiru s otopinom ili suspenzijom bojila ili pigmenta, te ih prenose na površinu papira. Način prenošenja, doziranja i egaliziranja sloja nanesenog na papirnu traku može biti vrlo različit, od jednostavnog dodira valjka s papirnom trakom do prolaska trake kroz valjke koji je istodobno tlače. Nezgodna je strana površinskog bojenja papira što se ravnomjerno obojenje može postići samo ako je sposobnost upijanja tekućina po čitavoj površini papira jednolika. Rijetko se površina papira boji uranjanjem, odnosno prolaskom papirne trake kroz kupke s otopinom bojila. To se bojenje primjenjuje samo za specijalne vrste papira s posebno intenzivnim bojama kao što su tzv. svileni papiri, papiri za izradbu umjetnog cvijeća i sl.

Na bojenje papira utječu mnogi faktori, u prvom redu vrsta sirovine od koje se papir proizvodi i stupanj mljevenja vlaknaste mase. Što je stupanj mljevenja veći (što je masa jače i duže mljevena), to je i efekt bojenja izraženiji, ali to ne utječe istodobno i na postojanost i zadržavanje boje na vlakancima. Vrsta i količina dodatnog punila također utječe na bojenje, jer i ono adsorbira bojilo ili pigment te umanjuje njegov efekt svojom pokrivnom moći i svjetloćom. Sredstva koja se primjenjuju za bojenje papira treba da daju papiru intenzivno obojenje, ne smiju se isprati vodom, moraju biti otporna prema visokoj temperaturi pri sušenju papira, zatim otporna prema svjetlu, djelovanju kiselina i lužina.

Kao sredstva za bojenje papira upotrebljavaju se bojila i pigmenti. Bojila su prirodne ili sintetske organske tvari koje apsorbiraju svjetlost u vidljivom dijelu spektra i stoga su obojene, a vežu se s mnogim materijalima kemijskom vezom ili trajnim fizikalnim silama. U industriji papira najviše se za bojenje primjenjuju sintetska bojila topljiva u vodi, i to bazna, kisela i supstantivna (v. *Bojila*, TE 2, str. 84).

Bazna bojila upotrebljavaju se u obliku soli raznih organskih baza s kiselinama (kloridnom, sulfatnom, octenom, oksalnom). Odlikuju se jarkim i intenzivnim obojenjem, slabo su postojana prema svjetlu, kiselinama, lužinama i kloru, osjetljiva su i razmjerno teško topljiva u vodi. Vlakanca drvenjače i nebijeljene celuloze, koja sadrže lignin i hemicelulozu, vrlo se dobro boje baznim bojilima, ali ta bojila nisu prikladna za bojenje bijeljene i delignificirane celuloze. Bazna se bojila uglavnom primjenjuju za bojenje debelih, tvrdih omotnih papira i elektroizolacijskih papira.

Kisela bojila, po svom kemijskom sastavu natrijeve, kalijeve ili amonijeve soli različitih sulfonskih kiselina, lako su topljiva u vodi. Ona nemaju skoro nikakav afinitet prema biljnim vlakancima te vrlo slabo boje drvenjače i celulozu. To se može poboljšati dodatkom sredstava za fiksiranje bojila na vlakancima, a mogu se primijeniti i za bojenje već keljene papirne smjese uz suvišak aluminij-sulfata. Kisela su bojila po jarkosti i sposobnosti bojenja slabija od baznih, postojanija su prema svjetlu, dok su prema kiselinama, lužinama i kloru neotporna. Neka od tih bojila u kontaktu s površinom sušnog valjka sublimiraju s lista papira, mijenjajući njegovu nijansu. Kisela su bojila osobito prikladna za bojenje uranjanjem, a upotrebljavaju se za bojenje određenih vrsta pisaačih, tiskovnih, svilenih i kopirnih papira.

Supstantivna (direktna) bojila boje vlakanca neposredno, bez ranije obradbe močilima. Bijeljena, delignificirana celuloza lakše se boji od drvenjače, bojilo se brzo apsorbira i na papiru se ne pojavljuje dvostrano obojenje. Direktna bojila vrlo su postojana prema svjetlu, ali daju mutnije tonove, slabije su topljiva od kiselih bojila i sklona su stvaranju koloidnih otopina, a neka su osjetljiva prema tvrdoj vodi. Upotrebljavaju se za bojenje mnogih bezdrvnih vrsta papira, boljih pisaačih i knjigovodstvenih papira, papira za bušene kartice, kartografskih i omotnih papira te za nekelnjene papire kao što su papiri za upijanje i ubruse te celulozna vata.

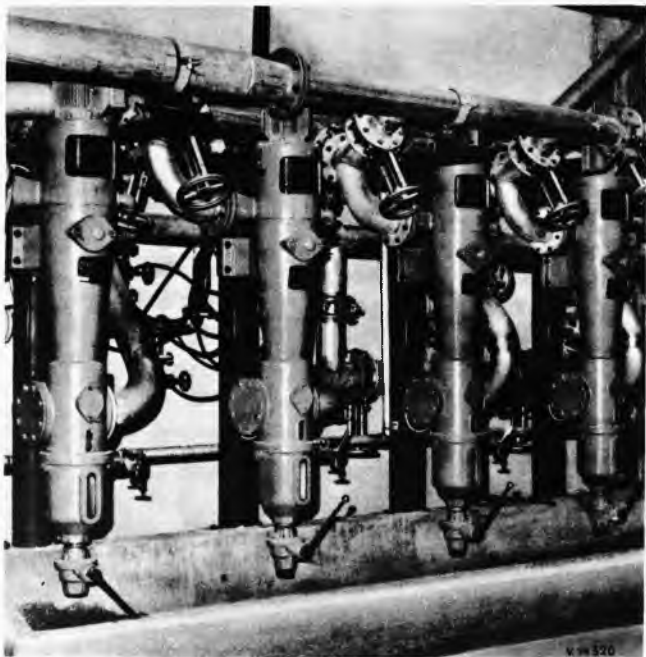
Da bi se postigla što veća bjeloća papira i uklonila neželjena žućkasta nijansa, dodaju se pri proizvodnji bijelih papira neznatne količine ljubičastih, plavih ili zelenih bojila. Najveća se bjeloća papira postiže dodatkom optičkih bjelila, koja se, kao i direktna bojila, vežu izravno na vlakanca. U te se svrhe upotrebljava uglavnom bijeljena celuloza.

Pigmenti se za bojenje papira rjeđe upotrebljavaju. To su čvrste, većinom anorganske, obojene i fino mljevene netopljive tvari koje se odlikuju izrazitom postojanošću prema svjetlu (v. *Pigmenti*). Međutim, pigmenti ne posjeduju nikakav afinitet prema celuloznim i drugim vlakancima. Zadržavanje pigmenata na vlakancima uzrokovano je adsorpcijom, okluzijom ili flokulacijom, no kako je to zadržavanje vrlo slabo, treba ga pojačati dodatkom pomoćnih sredstava. Pigmentima se boje neke vrste pisaačih, tiskovnih, etiketnih i dokumentnih papira od kojih se traži dobra postojanost prema svjetlu.

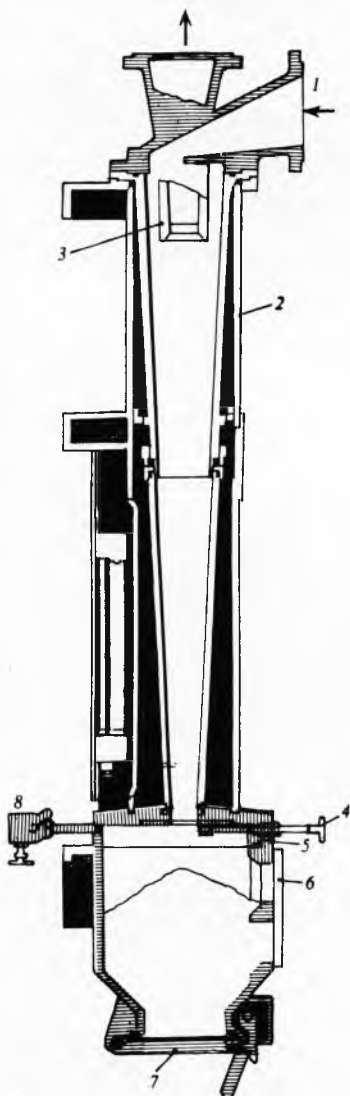
Pročišćivanje vlaknaste mase. Nakon mljevenja uz dodatak keljiva, bojila i drugih aditiva, vlaknasta se masa odvodi u strojnu kadu. Obujam strojne kade mora biti takav da može sadržati količinu vlaknaste mase dovoljnu za najmanje pola sata rada papirnog stroja. Stoga se danas upotrebljavaju strojne kade s obujmom najmanje 1000 m^3 . Međutim, vlaknasta masa u strojnoj kadi nije još posve pripremljena za rad na papirnom stroju jer je pregusta i sadrži različite nečistoće. Zbog toga se masa, koja sadrži 3–4% čvrste tvari, razrjeđuje vodom prema približnom empirijskom odnosu: postotak čvrste tvari $\times 100 =$ težina papira/ m^2 . Razrjeđuje se u posebnom uređaju povratnom vodom sa sita papirnog stroja.

O čistoći vlaknaste mase ovisi kvaliteta papira, ali i bolje formiranje papirne trake te sigurniji i jednoličniji rad papirnog stroja. Ranije se za pročišćivanje vlaknaste mase upotrebljavao *pjeskolov*, otvoreni veliki žlijeb postavljen vodoravno ili pod malim kutom. Na dnu žlijeba nalazile su se poprečne pregrade, u koje su se prilikom putovanja vlaknaste mase taložile teže čestice nečistoća. Danas se nečistoće uklanjaju uglavnom na centrifugalnom principu. Jedan od prvih uređaja te vrste bio je *ciklon* poznat pod nazivom Kortrap. Vlaknasta masa uvodi se u valjkasti dio ciklona pod tlakom, pa se za vrijeme kružnog kretanja teže čestice djelovanjem centrifugalne sile odvajaju i

odbacuju uz stijenke valjaka i padaju u donji dio ciklona, dok se lakše čestice vlaknaste mase odvođe kroz središnji dio valjka.



Sl. 11. Grupa pročišćivača za gustu vlaknastu masu



Sl. 12. Pročišćivač rjeđe vlaknaste mase (centrikliner). 1 ulaz vlaknaste mase, 2 konusna cijev, 3 izlazna cijev za pročišćenu vlaknastu masu, 4 zasun za ispuštanje nečistoća u spremnik, 5 taložnik za nečistoće, 6 kontrolni stakleni prozorčić, 7 ispusni zaklopac za nečistoće, 8 priključak vode za regulaciju povratne vodene struje

U suvremenim centrifugalnim pročišćivačima valjkasta cijev zamijenjena je konusnom. U pročišćivaču za gustu vlaknastu masu (sl. 11) rotira u širem dijelu konusne cijevi kosa ploča, od koje se čestice vlaknaste mase nakon ulaska u pročišćivač odbijaju prema obodu konusa. Time se, s obzirom na ciklon, centrifugalna sila povećava i odjeljivanje je djelotvornije. Teže čestice nečistoća zadržavaju se u tzv. džepovima konusa, a pročišćena vlaknasta masa odvođi se kroz cijev smještenu u središnjem dijelu konusa.

Pročišćivači za rjeđu vlaknastu masu također su konusnog oblika, ali bez rotora. Najviše se u industriji papira upotrebljava pročišćivač pod nazivom centrikliner (engl. Centri-Cleaner). Masa se u njega ubacuje pod većim tlakom, konusna je cijev uža i brzina putovanja čestice veća, pa tom prilikom nastaje vrlo jaka centrifugalna sila (sl. 12). Uz konusnu cijev nema taložnika, već se nečistoće kontinuirano uklanjaju kroz donji dio cijevi. Često se centriklineri kombiniraju s uređajima za uklanjanje zraka iz vlaknaste mase.

Papirni stroj

Iako se princip izradbe papira, tj. formiranje lista papira cijedenjem i sušenjem kaše vlakanaca, nije vremenom izmijenio, velik je napredak učinjen 1799. godine konstrukcijom papirnog stroja. Taj je stroj označio revoluciju u načinu izradbe papira, jer je omogućio kontinuiran i mehaniziran rad. Osim što je stroj zamijenio dotadašnji ručni rad pri cijedenju na malim sitima i prešanju papirnog lista, to je ujedno značilo i bržu proizvodnju, bolju kontrolu, jednoličniji proizvod i mnogo veći proizvodni kapacitet.

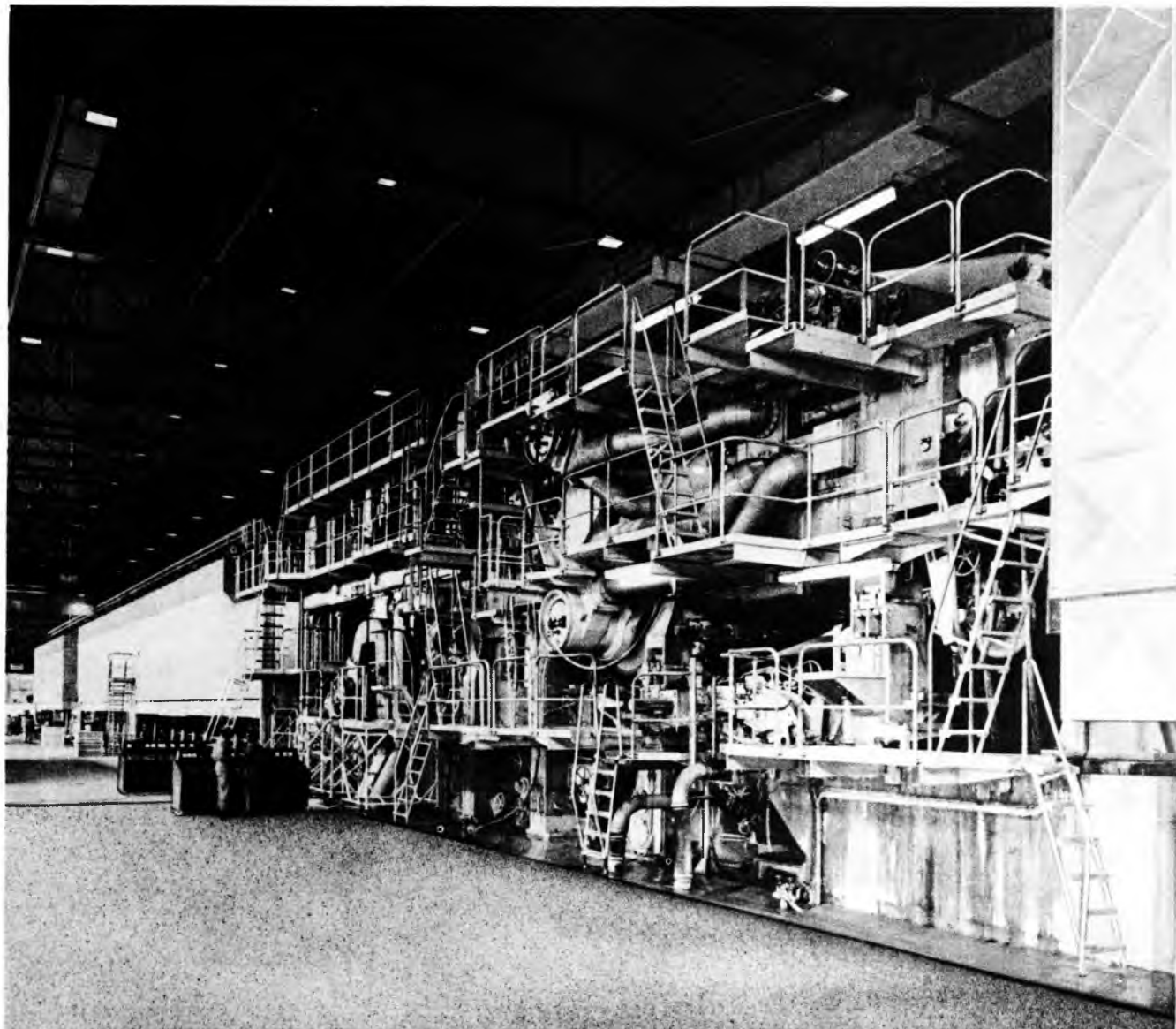
Papirni su strojevi u svom razvoju doživjeli mnoge izmjene i poboljšanja. Suvremeni su kontinuirani papirni strojevi (sl. 13) čitava mehanizirana i automatizirana industrijska postrojenja. Uključujući sekciju za prešanje i sušenje, mogu se pružati čitavom duljinom veće tvorničke hale (sl. 14), široki su i do 10 m, a brzina putovanja papirne trake može iznositi i više od 1000 m u minuti.



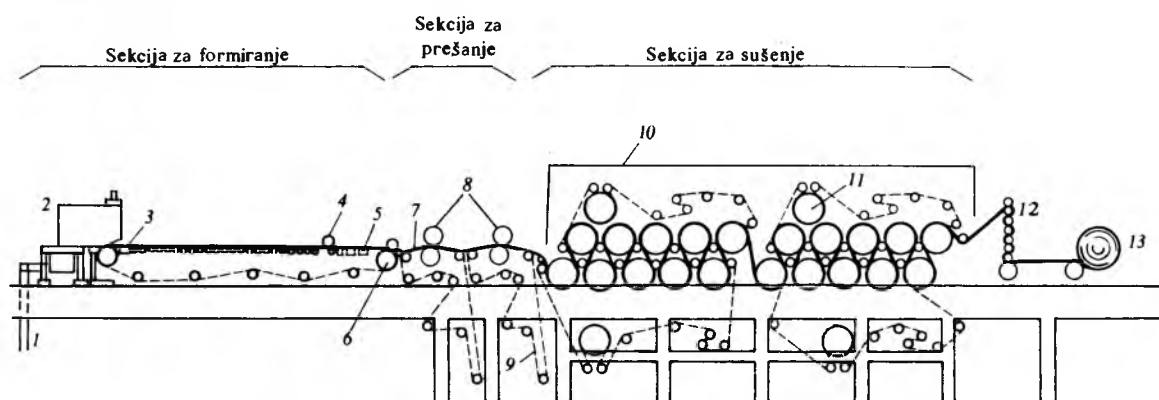
Sl. 13. Papirni stroj za proizvodnju ambalažnih papira i kartona u Zagrebačkoj tvornici papira

Papirni se strojevi sastoje od 3 osnovne sekcije (partije): sekcija za formiranje, za prešanje i za sušenje papirne trake (sl. 15). U prvoj se sekciji pripremljena papirna smjesa, tj. pročišćena i razrijeđena vlaknasta masa s dodacima, kontinuirano i jednolično prenosi na pokretno sito. Na tom se situ iz papirne smjese cijedenjem uklanja najveća količina vode i formira se papirna traka. U sekciji za prešanje papirna se traka protiskuje između valjaka i tako uklanja dalja količina vode. Konačno, u sekciji za sušenje papirna se traka propušta kroz sustav grijanih valjaka da se potpuno osuši i riješi vlage koja se ranije mehanički više nije mogla ukloniti.

Sekcija za formiranje papirne trake. O obliku sita za cijedenje papirne smjese i za formiranje papirne trake ovisi izgled i način



Sl. 14. Izgled suvremenog papirnog stroja za izradbu bezdrvnih pisaćih i tiskovnih papira



Sl. 15. Shematski prikaz papirnog stroja s dugim sitom. 1 ulaz papirne smjese, 2 natok, 3 pokretno dugo sito, 4 valjak za poravnavanje, 5 usisne komore, 6 pogonski valjak, 7 formirana papirna traka, 8 preše, 9 traka od pusta, 10 kućište s valjcima za sušenje, 11 grijani sušni valjci, 12 kalandar, 13 namatanje gotove papirne trake

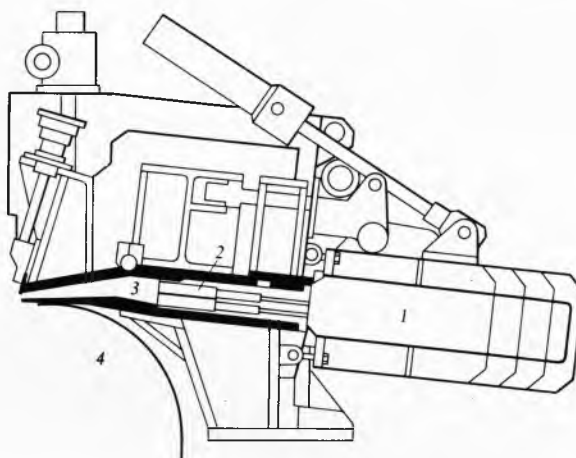
rada čitavoga papirnog stroja. Prema tome se i razlikuju dvije vrste papirnih strojeva: strojevi s dugim sitom i strojevi s valjkastim sitom. Međutim, u sekcijama za prešanje i sušenje papirne trake nema među tim vrstama strojeva razlike.

Papirni stroj s dugim sitom. Taj tip papirnog stroja nazivan i papirnim strojem tipa Fourdrinier, prema svojim konstruktorima početkom XIX stoljeća, standardni je stroj u postrojenjima za proizvodnju papira. Mnogo se više upotrebljava od stroja

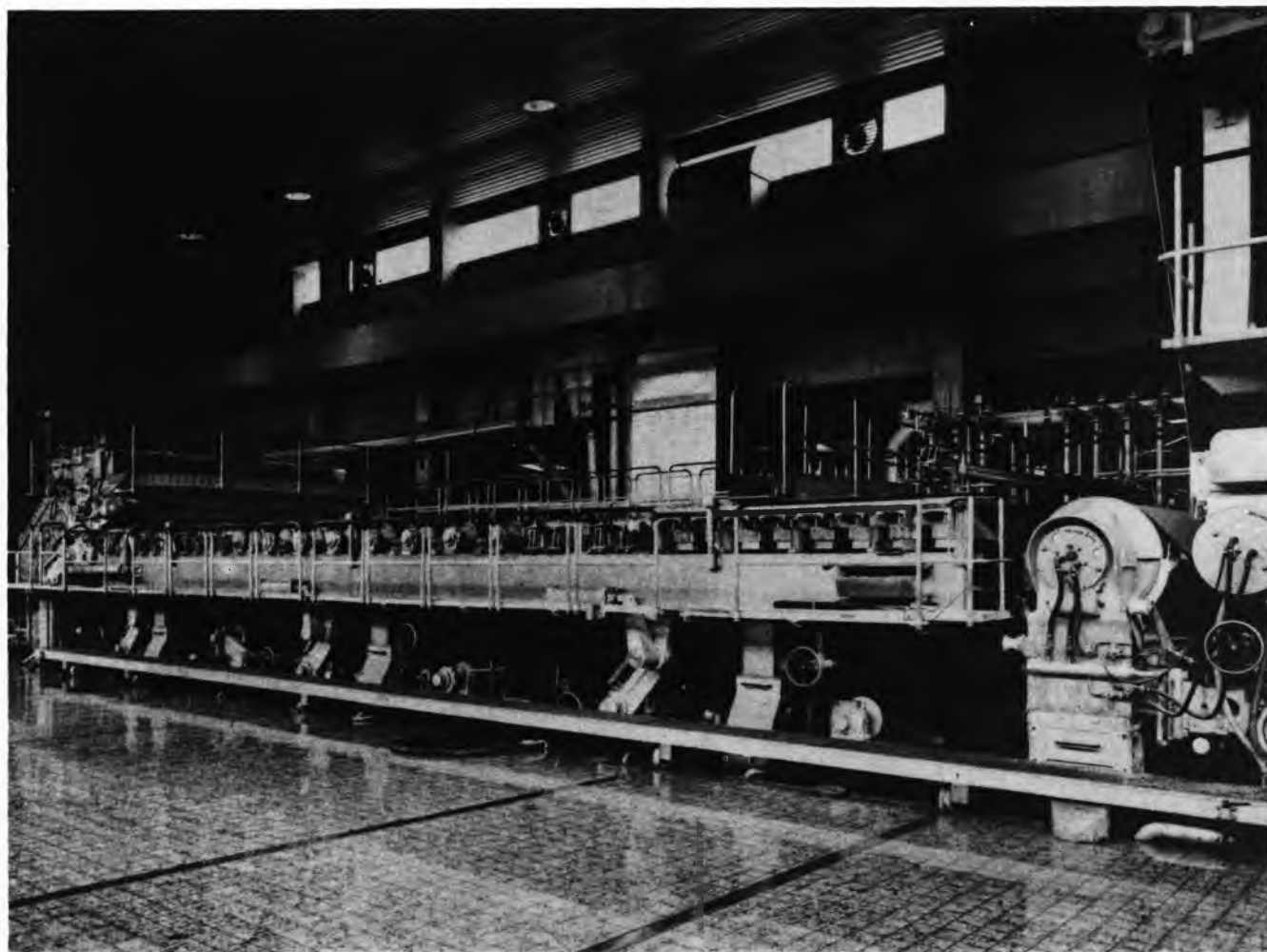
s valjkastim sitom, ali je od njega i složeniji. Njegova sekcija za formiranje papirne trake sadrži dva osnovna dijela: natok i dugo pokretno sito.

Pročišćena i jednolična papirna smjesa uvodi se pomoću pumpe u natok (natočno korito). Taj se uređaj nalazi na početku papirnog stroja i zauzima jedno od najvažnijih mjesta u procesu proizvodnje papira (sl. 16). Naime, za formiranje papirnog lista i za dobivanje jednolikog i kvalitetnog proizvoda najvažnija je ravnomjerna raspodjela papirne smjese po cijeloj širini sita, što se može postići samo kontroliranim i jednolikim istjecanjem smjese iz natoka na pokretno sito. Osim toga, natok mora biti tako konstruiran da se ne može lako zaprljati ili začepiti, da su svi dijelovi u doticaju s papirnom smjesom pristupačni radi kontrole i čišćenja, i da se brzina istjecanja smjese može podešavati u skladu s brzinom putovanja sita. Vrlo je važno da se u natoku stalno održava fino turbulentno strujanje kako bi se spriječilo stvaranje nakupina vlaknaca. U početku rada papirnih strojeva upotrebljavao se samo natok otvorenog tipa, koji se još i danas može susresti u starijim pogonima. Brzina istjecanja smjese ovisila je o hidrauličkom tlaku, tj. o visini stupca papirne smjese u natoku. Međutim, pri današnjim velikim brzinama formiranja papirne trake takav je natok postao potpuno neprikladan. U suvremenim papirnim strojevima smjesa se kroz natok tjera pumpom, ili se upotrebljava zatvoreni natok u kojemu se istjecanje regulira promjenljivim tlakom zraka iznad razine smjese.

njih prelazi uz potresanje preko manjih, tzv. *nosećih ili registar valjaka* i iznad usisnih komora. Samo posljednji veliki valjak pokreće se pogonskim motorom. Sve ostale valjke pokreće svojim prolaskom samo sito, pa se stoga moraju vrlo lako okretati.



Sl. 16. Shema suvremenog natoka. 1 razdjeljivač vlaknaste mase, 2 stepenasti difuzor, 3 mlaznica, 4 valjak s pokretnim sitom



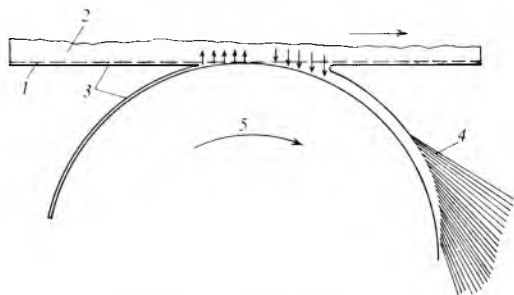
Sl. 17. Pokretno dugo sito papirnog stroja za proizvodnju novinskog papira; širina sita 4,75 m, najveća brzina 800 m/min

Dugo sito papirnog stroja, izrađeno od metala ili, u posljednje vrijeme, od sintetskog vlakna, služi za odvodnjavanje papirne smjese i za formiranje papirne trake (sl. 17). Ono je napeto horizontalno i putuje između dva velika, krajnja valjka, a između

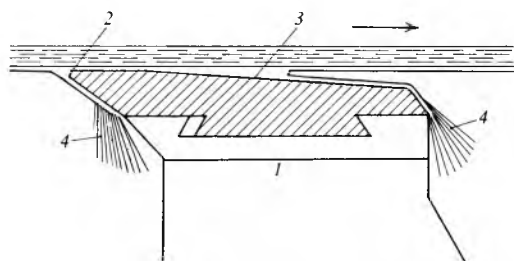
U početku su noseći valjci bili stavljani samo s namjerom da pridržavaju sito, ali se kasnije spoznalo da upravo oni uklanjaju najveću količinu vode iz papirne smjese. Njihovo odvodnjavajuće djelovanje nastaje uglavnom zbog podtlaka, koji se prela-

ženjem sita stvara neposredno uz valjak na strani na kojoj se sito udaljuje od valjka (sl. 18).

U suvremenim su papirnim strojevima noseći valjci zamijenjeni strugalima za vodu, za koja se u struci udomačio strani naziv *hydrofoils* i *vacufoils*. S obzirom na sito gornja je ploha strugala malo koso položena, pa sa svojim prednjim, izbočenim dijelom struže i uklanja vodu s donje strane sita, dok se na nižem dijelu kose plohe stvaraju podtlak i izvlači se voda (sl. 19). Pri uklanjanju vode strugala su djelotvornija od vodećih valjaka, omogućuju ravnomjernije formiranje papirne trake i zauzimaju manje mjesta, pa skraćuju potrebnu duljinu sita.



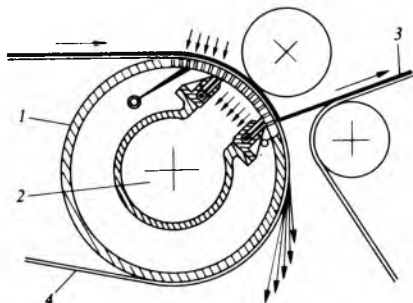
Sl. 18. Odvodnjavanje na vodećem valjku. 1 sito, 2 papirna smjesa, 3 tanak sloj vode, 4 uklonjena voda, 5 vodeći valjak



Sl. 19. Strugalo za vodu (hydrofoil). 1 tijelo strugala, 2 izbočeni dio strugala, 3 mjesto stvaranja podtlaka, 4 uklonjena voda

Nakon prelaska preko nosećih valjaka, odnosno strugala za vodu, pokretno sito s već djelomično formiranom papirnom trakom prelazi preko usisnih (vakuumskih) komora koje služe za dalje odvodnjavanje. U papirnim strojevima uz usisne komore smješten je s gornje strane sita veći *sitasti valjak* (*eguter*). Njegovi su zadaci da poravna gornju stranu odvodnjene papirne smjese, izgladi neravnine, ukloni zaostalu pjenu, istisne mjehuriće zraka i doprinese boljoj kompaktnosti i zatvorenosti smjese. Ako površina tog valjka nije glatka, već je izbočena u obliku slova ili nekog lika, utiskivat će se u odvodnjenu papirnu smjesu tzv. vodeni znak, jer će na tom mjestu smjesa biti nešto tanja i nakon sušenja prozirnija.

Na kraju sita papirna smjesa treba biti dovoljno gusta i čvrsta da se može bez sita dalje samostalno transportirati. Na tom mjestu prelazi ona preko velikog pogonskog valjka, koji je priključen na sisaljku (usisni valjak) i služi također za usisavanje vode (sl. 20). Stvorena papirna traka sadrži na kraju



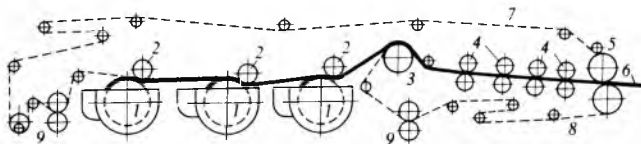
Sl. 20. Djelovanje usisnog valjka. 1 usisni valjak, 2 priključak na vakuum, 3 papirna traka, 4 pokretno sito

sita oko 80% vode. Kako je početna vlaknasta masa prije dolaska na sito bila razrijeđena i sadržavala svega oko 1% suhe tvari, to se cijedenjem na situ ukloni 96...98% količine vode. Ta voda sadrži znatne količine celulozne sirovine i dodataka, pa se kao povratna voda upotrebljava za razrjeđivanje vlaknaste mase prije ulaska u papirni stroj.

Loša je strana cijedenja papirne smjese na situ što se voda uklanja samo s donje strane mase, pa se tako s vodom s donje strane uklanjaju i fine čestice punila i drugih dodataka. To rezultira tzv. dvostranošću, tj. nejednolikom kvalitetom i sposobnošću primanja tiska na različitim stranama papira. U proizvodnji papira kojima bi dvostranost bila izraziti nedostatak upotrebljava se modificirana sekcija za formiranje, u kojoj se iz papirne smjese voda uklanja jednoliko s obje strane.

Papirni stroj s valjkastim sitom. Taj se tip stroja, nazvan i cilindričnim strojem, razlikuje od papirnog stroja s dugim sitom po konstrukciji i načinu rada svoje sekcije za formiranje papirne trake, dok je princip formiranja u oba tipa jednak. Naime, papirni stroj s valjkastim sitom nema natoka, već se razrijeđena papirna smjesa dovodi pumpom u dugoljasti spremnik u obliku valjkastog korita. U tom je koritu smješten šuplji valjak prekriven žičanim sitom i djelomično uronjen u papirnu smjesu. Prilikom rotacije valjak zahvaća i odnosi dio smjese na svom sitastom plaštu, pa se voda kroz sito cijedi u unutrašnjost valjka, a na vanjskoj se strani sita kontinuirano formira papirna traka. Već dovoljno čvrsta papirna traka odvaja se od valjka na najvišoj točki plašta i odvodi u sekciju za prešanje.

Rad papirnih strojeva s valjkastim sitom ograničen je uglavnom na relativno male proizvodne brzine. Međutim, prednost je tih strojeva što su vrlo prikladni za proizvodnju višeslojnih papira i kartona. Sekcija za formiranje može se sastojati od više valjaka uronjenih u papirne smjese različita sastava (sl. 21). Tada se formira više papirnih traka različitih svojstava, koje se sjedinjuju i kao višeslojni proizvod putuju kroz ostale sekcije papirnog stroja.

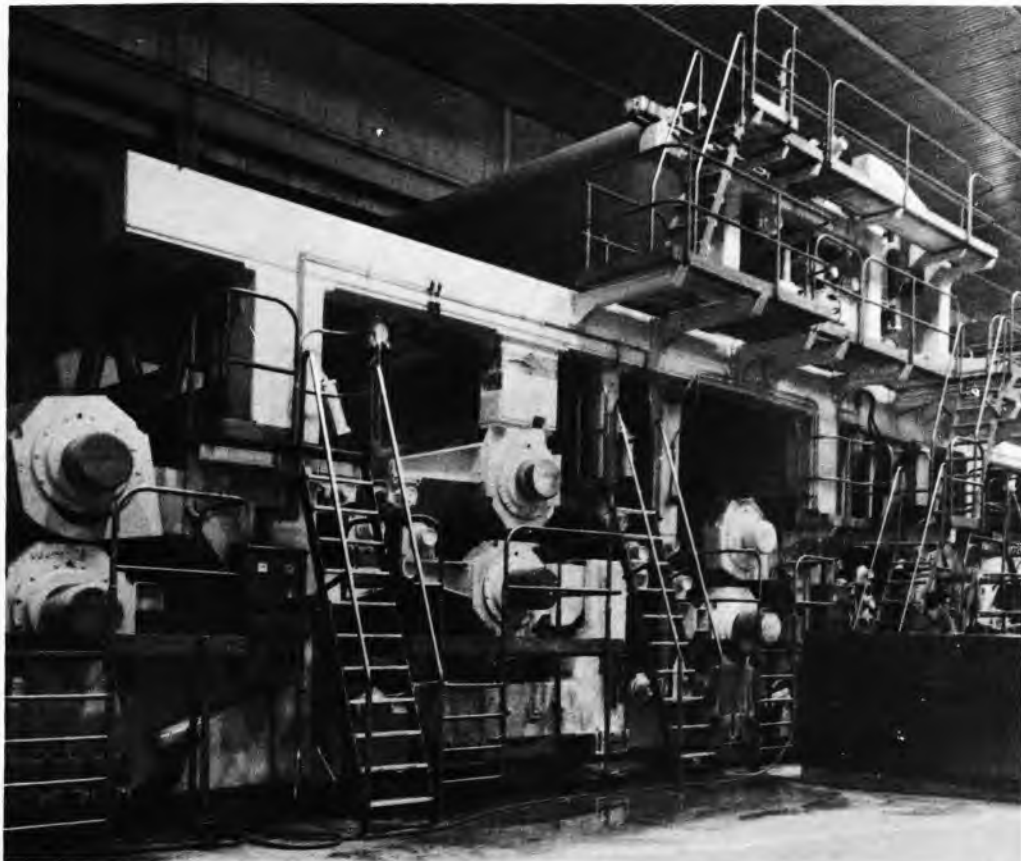


Sl. 21. Papirni stroj s valjkastim sitima. 1 valjkasto sito za formiranje papirne trake, 2 valjci za cijedenje, 3 usisni valjak, 4 manje preše (pretpreše), 5 preša, 6 formirana papirna traka, 7 gornja pustena traka, 8 donja pustena traka, 9 ispiranje pustene trake

Sekcija za prešanje. Mjesto na kojem papirna traka napušta dugo ili valjkasto sito najosjetljivija je točka u papirnom stroju i u njoj se traka najčešće kida. To se obično događa u brzohodnim papirnim strojevima. Da bi se spriječilo kidanje papirne trake i ublažio njen prijelaz s pokretnog sita u sekciju za prešanje, traka se prihvaća malim usisnim valjkom priključenim na vakuum i ujedno se priljubljuje uz putujuću beskonačnu traku od pusta (filca). Danas se umjesto od čiste vune upotrebljavaju pustovi od mješavine vune i sintetskog vlakna ili od čistog sintetskog vlakna. Osim što pridržava papirnu traku pustena traka služi u prvom redu za upijanje vode prilikom prešanja, što mnogo doprinosi boljem uklanjanju vode u sekciji za prešanje. Pri tom se na tu traku osim vode prenose i fine čestice keljiva, punila i drugih dodataka, pa traku treba kontinuirano čistiti. Zbog toga se ona na svom povratnom putovanju ispiru vodom i odvodnjuje prešanjem ili propuhivanjem komprimiranim zrakom.

Jednostruka rotacijska preša za papirnu traku sastoji se od dvaju valjaka između kojih prolazi papirna traka nošena pustenom trakom. Razmak između valjaka treba tako podesiti da se istiskuje dovoljno vode, ali da tlačenje ne uzrokuje bitne promjene u strukturi papira. Neka se svojstva papira tlačenjem ipak mijenjaju. Tako se čvrstoća i gustoća papira povećavaju, a smanjuje se poroznost, propusnost za zrak i sposobnost upijanja vode. Gornji valjak preše vrlo je tvrd (od metala ili fino poliranog granita), dok je u starijim prešama donji valjak mekši,

Sl. 22. Papirni stroj, sekcija za prešanje



obično obložen gumom. Uklanjanje vode prešanjem postalo je mnogo djelotvornije nakon što se kao donji valjak u prešama upotrijebio perforirani valjak priključen na vakuum (vakuumška preša).

U suvremenim se prešama između valjka i pusta protiskuje i tvrda traka od plastične mase u obliku sita. Ta se sitasta traka dađe tek neznatno stlačiti, pa pri prolazu kroz valjke preuzima istisnutu vodu u svoje međuprostore. U upotrebi su i preše sa spiralno profiliranim valjcima i s valjcima s uzdužnim kanalčićima za sakupljanje istisnute vode. Sekcija za prešanje (sl. 22) može imati jednu ili više jednostrukih preša ili njihovih kombinacija. Tako se dvostruka preša sastoji od triju valjaka, dva se valjka nalaze uz treći, središnji valjak.

U sekciji za prešanje udjel vode u papirnoj traci smanjuje se sa 80% na 65...70%, tj. količina vode s obzirom na suhu tvar smanjuje se po prilici na polovicu.

Sekcija za sušenje. Po izlasku iz sekcije za prešanje papirna je traka još uvijek mokra (na jedan dio suhe tvari sadrži dva dijela vode). Međutim, preostala se voda više ne može ukloniti mehanički, već traku treba sušiti na povišenoj temperaturi. To se u papirnom stroju provodi u sekciji za sušenje, u kojoj se papirna traka može zagrijavati izravnim kontaktom s površinom nekog zagrijanog tijela, konvekcijom ili zračenjem. Od tih se mogućnosti zagrijavanje izravnim kontaktom najviše primjenjuje, pa se tako suše sve uobičajene vrste papira u standardnim papirnim strojevima.

Sekcija za sušenje u papirnom stroju sastoji se od niza zagrijanih, rotirajućih valjaka raspoređenih u nekoliko skupina (sl. 23). Papirna traka prolazi između valjaka tako da je naizmjenice jedna i druga njena strana s njima u kontaktu. Pri putovanju kroz sekciju za sušenje papirna se traka, osim debljih kartonskih traka, pritiskuje uz valjke pustenim trakama, koje preuzimaju dio isparene vode, poboljšavaju prijelaz topline i sprečavaju stvaranje nabora. Iz sekcije za sušenje mora se odvoditi vodena para nastala isparivanjem vode iz papirne trake. Zbog toga su mnoge sekcije smještene u zatvorena kućišta i opremljene uređajima za provjetravanje.



Sl. 23. Papirni stroj, sekcija za sušenje

Djelotvornost sušenja papirne trake ovisi o broju, veličini i temperaturi valjaka, o temperaturi okolišnog zraka, o debljini i gustoci papira i o njegovoj sposobnosti otpuštanja vlage, te o brzini putovanja trake. Sve te faktore treba uzeti u obzir pri projektiranju i konstrukciji sekcije za sušenje. Valjci su obično velikog promjera (150...180 cm) i njihova se unutrašnjost zagrijava parom, najčešće do temperature 110...140 °C. U većini je suvremenih papirnih strojeva trajanje sušenja tankih, srednje-finih papira kratko i iznosi 20...40 sekundi.

Osim sušenja papirne trake na zagrijanim valjcima u novijim se postrojenjima sve više primjenjuju i drugi, suvremeniji načini sušenja. Među njima se kao vrlo djelotvoran i brz postupak ističe sušenje vrućim zrakom. Uz sušionike, u kojima se struja vrućeg zraka upućuje iz mlaznica okomito na površinu papirne trake, u upotrebi su i uređaji koji rade na temelju Venturijeve cijevi. Papirna traka prolazi vrlo blizu tim uređajima, iz kojih tada turbulentno struji vrući zrak. Neke specijalne vrste papira suše se primjenom infracrvenog zračenja.

U suvremenijim papirnim strojevima ugrađena je u sekciji za sušenje *preša za površinsko keljenje*. Obično je smještena na mjestu gdje je papirna traka prešla oko dvije trećine puta kroz tu sekciju i sadrži još 10...15% vlage. Preša za površinsko keljenje sastoji se od dvaju valjaka, uronjenih u otopinu keljiva, između kojih papirna traka prolazi i koji na jednu ili na obje strane prenose otopinu keljiva. Kao sredstva za površinsko keljenje najviše se upotrebljava škrob (kao 2...6%-tna otopina), ali to mogu biti i emulzije voskova, lateks, neki celulozni derivati ili sintetska keljiva. Ta se keljiva valjcima utiskuju u pore papirne trake, pa ona u tanjim papirima prodru i do 1/3 debljine. Površinskim se keljenjem poboljšava površina papira, povećava njihova prikladnost za pisanje i tiskanje, otpornost prilikom brisanja, glatkoća i sjaj, a smanjuje se sklonost prašenju. Površinsko se keljenje često primjenjuje i na one vrste papira kojima su keljiva bila dodana već i ranije, još prilikom pripreme vlaknaste mase, tj. prije formiranja trake na papirnom stroju. Osim keljiva, pomoću tih se preša mogu na papir nanositi i druga sredstva za prekrivanje površine, npr. sredstva za površinsko bojenje. Ta se sredstva sastoje od smjese vode, pigmenta, veziva i različitih dodataka. Najčešće se upotrebljavaju bijeli pigmenti, pa je tako obrađen papir zbog svoje bjeline, glatkoće i sjaja vrlo prikladan za kvalitetan tisak. Osim u preši za površinsko keljenje papir se može po izlasku iz papirnog stroja bojiti i u posebnim uređajima.

Upotreba preše za površinsko keljenje moguća je samo do brzina putovanja papirne trake 750 m/min. Pri većim se brzinama keljivo zbog velike centrifugalne sile raspršuje s valjka prije no što se prenese na površinu papira. Površinskim se keljenjem

papir ujedno navlaži i potrebno ga je ponovno sušiti prolaskom kroz posljednji dio sekcije za sušenje.

Po izlasku iz sekcije za sušenje papirna se traka hladi provođenjem između hladnih valjaka, a ujedno se tako sprečava da se na papiru stvaraju nabori i da postaje krt. Traka se zatim provodi kroz *strojni kalander*, koji se sastoji od najmanje dva, a često i do 8 čeličnih valjaka malog promjera (oko 30 cm). Valjci su jedan iznad drugog smješteni tako da gornji valjci svojom težinom tlače sve preostale valjke ispod sebe. Tako se na papirnoj traci koja prolazi između valjaka izravnavaju neravnine. Time papir dobiva tzv. strojnu glatkoću i postaje mnogo prikladniji za tisak. Suvremeni strojni kalanderi sastoje se od svega 2 ili 4 valjka, a tlačenje među njima regulira se hidraulički.

Na izlasku iz papirnog stroja bezdrvni i srednje fini papiri, koji se kasnije satiniraju na superkalanderu, ovlažuju se na aparatu koji raspršuje vodu pomoću komprimiranog zraka, sapnica i četaka. Konačno se papirna traka namata na velike koture u dijelu papirnog stroja za namatanje papira (sl. 24). Tom se operacijom završava proizvodnja papira u papirnom stroju. Njegova eventualna dalja obradba, doradba, rezanje u listove i sl. provodi se na posebnim strojevima u odvojenom pogonu.

Doradba papira

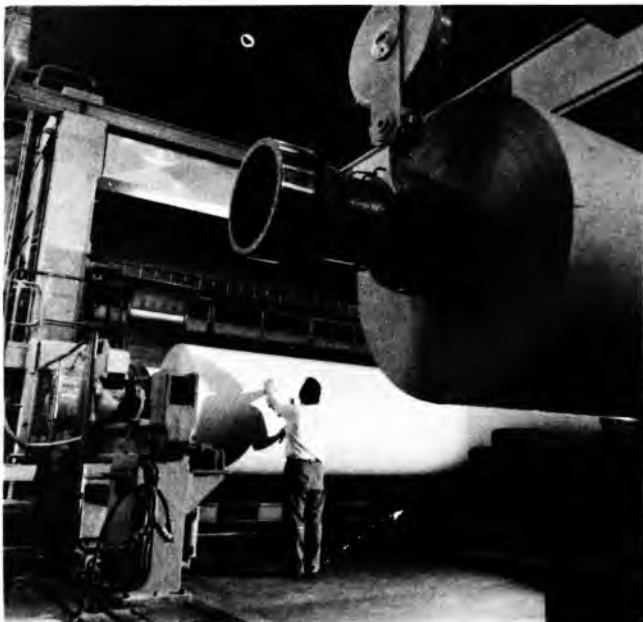
Papir proizveden u papirnom stroju valja ostaviti neko vrijeme namotan na koturima u hladnom skladištu kako bi se unutrašnji naponi između vlaknaca ublažili i tako papir egalizirao i stabilizirao. Tek po završetku tog procesa pristupa se doradbi papira, koja redovito uključuje prematanje papirne trake uz istodobnu kontrolu te rezanje u uže trake određene širine ili u listove različitih formata. Osim tih operacija, često je u doradbi papira kao vrlo važan postupak uključeno i satiniranje.

Papirna se traka premata s jednog kotura na drugi na stroju za prematanje opremljenom i uređajem za poprečno rezanje papirne trake. Svrha je tog postupka da se traka pregleda po cijeloj svojoj duljini kako bi se otkrila moguća slaba ili oštećena mjesta kao što su mrlje, rupe, nabori i sl. Dio trake s tim mjestom ili područjem potrebno je izrezati, a zatim krajeve trake sljepiti po čitavoj širini.

Satiniranje. Papir se satinira ako se želi da njegova površina bude glada i sjajnija no što je u strojnglatkih papira. Stoga se kvalitetan papir, u prvom redu tiskovni i pisaci, doraduje satiniranjem na superkalanderu.

Kalander za satiniranje (superkalander) sastoji se od 8...12, a ponekad i više teških valjaka smještenih jedan iznad drugoga u visinu i do 10 m (sl. 25). Kao i u strojnom kalanderu, valjci svojom težinom tlače preostale donje valjke, pa je u procjepima između valjaka papirna traka izložena velikom tlaku, koji se u suvremenim superkalanderima može regulirati hidraulički. Valjci su naizmjenično od čelika i od prešanog papira na čeličnoj jezgri, pa se djelovanje kalandera za satiniranje temelji na razlici tvrdoća tih valjaka. Tvrdi čelični valjak stalno se utiskuje u mnogo mekši papirni valjak i radijalno ga deformira. Tom prilikom između valjaka nastaje veliko trenje, kojemu je izvrnuta i prolazeća papirna traka. Pod utjecajem trenja i tlaka površina se papira uz čelični valjak satinira, tj. poprima visoki sjaj i veliku glatkoću. Satiniranje ne ovisi samo o trenju i tlaku, već i o temperaturi i o vlažnosti papirne trake. Najbolji se rezultati uz isti tlak postižu s papirom koji je prije ulaska u superkalander bio ovlažen do udjela vlage 7...8%, ali je u proizvodnji pergaminskog i vrlo tankog kondenzatorskog papira potrebno vlažiti traku i do udjela vlage 18...25%. I povišene temperature pogoduju satiniranju, pa se danas uglavnom upotrebljavaju šuplji čelični valjci zagrijani na temperaturu 100...150 °C. Satiniranje može i negativno utjecati na neka svojstva papira. Tako se, npr., smanjuje stupanj keljivosti, papir postaje tanji, transparentniji i lakše se kida.

Rezanje papirne trake. Papirna traka proizvedena na papirnom stroju vrlo je široka, ponekad i do 10 metara, te su tako široki koturi s namotanom trakom neprikladni za transport, rukovanje i upotrebu. Stoga se nakon eventualnog satiniranja,



Sl. 24. Dio papirnog stroja za namatanje papira

SVOJSTVA I VRSTE PAPIRA

Određivanje svojstava papira. Papir mora po svojim svojstvima udovoljavati vrlo različitim zahtjevima, koji su određeni namjenom i upotrebom pojedine vrste papira. Prema tome, osim utvrđivanja osnovnih svojstava papira kao vrste materijala, definiraju se i određuju i mnoga specifična, tzv. upotrebna svojstva. Mnoga se mjerenja provode tako da se simuliraju uvjeti u kojima će se papir naći prilikom stvarne upotrebe. To zahtijeva da se detaljno i jednoznačno definiraju mjerne aparature i okolnosti pri određivanju.

Mnoga svojstva papira ovise vrlo mnogo o njegovoj vlažnosti. Zbog toga papir namijenjen ispitivanju mora prvo odležati u prostoru s točno određenom temperaturom i vlažnošću zraka sve dok se u tome potpuno ne uravnoteži s okolišem. Osim određivanja sastava i njegovih dimenzijskih karakteristika (vrsta vlaknaca, djelomični kemijski sastav, anorganski ostatak u obliku pepela, udjel vode, vrijednost pH, debljina, gramatura, gustoća), uglavnom se redovito ispituju optička svojstva (bjelina, boja, sjaj, neprozirnost, sklonost požućavanju), mehanička svojstva (čvrstoća, istezanje, probojnost, otpornost prema kidanju, elastičnost, pregibanje i sl.), površinska svojstva (sposobnost primanja tiska i boje, glatkoća, otpornost prema čupanju itd.) te svojstva ovisna o gustoći formiranog lista (higroskopnost, sposobnost upijanja vode i tinte, poroznost za plinove, pare i masnoću). Često se ispituje trajnost papira, otpornost prema svjetlu i toplini, upaljivost i druge specifične i upotrebne karakteristike papira. Mnoga od navedenih svojstava u pojedinim su zemljama različito definirana, pa se i standardizirane metode i okolnosti za njihovo točno određivanje međusobno razlikuju.

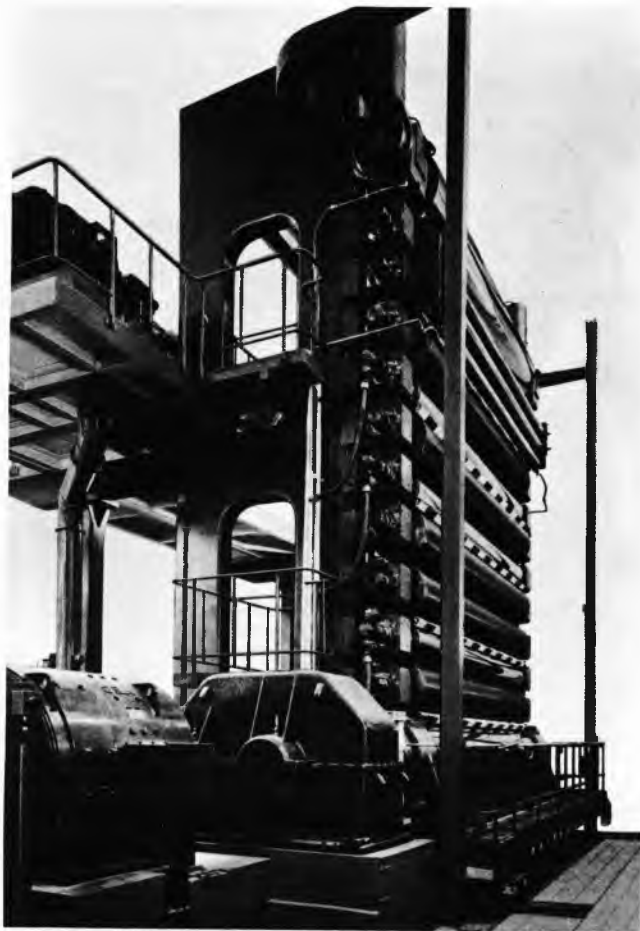
Vrsta vlaknaca u papiru može se utvrditi pod mikroskopom. Tako se mogu ujedno otkriti i nečistoće i sitni komadići stranih tvari. Vaganjem nakon sušenja do konstantne težine određuje se udjel vode, a iz pepela preostalog nakon spaljivanja i žarenja ustanovljuje se udjel anorganskih tvari u papiru. Vrijednost pH vrlo je važna karakteristika. Papiri s niskom vrijednosti pH (s kiselim reakcijom) nisu postojani zbog razgradnje vlaknaste strukture i smanjena im je upotrebljivost za kvalitetan tisak.

Pojedine vrste papira (i ostali proizvodi industrije papira) karakteriziraju se i svojom gramaturom. To je mjera za površinsku masu papira (ranije nazivana površinskom težinom), tj. za masu lista papira određene površine. Obično se iskazuje u g/m^2 i označena je na omotima papira u trgovačkom prometu. Gramatura je za različite proizvode industrije papira tipizirana i iznosi od desetak g/m^2 za lake papire pa sve do 600 i više g/m^2 za teške kartone i ljepečke. Gustoća papira (prostorna masa) iskazuje se u trgovini u kg/dm^3 , pa za vrlo porozne papire iznosi do $0,33 \text{ kg/dm}^3$, dok je gustoća vrlo gustih papira (npr. kondenzatorski papir) i do $1,35 \text{ kg/dm}^3$. Kako se papir proizvodi u tankim listovima, gustoća neke vrste papira lako se izračunava dijeljenjem površinske mase s debljinom lista. Ponekad se navodi i specifični volumen papira, tj. recipročna vrijednost gustoće.

Mnoga optička svojstva papira teško se definiraju i podložna su subjektivnoj ocjeni promatrača. Tako bjelina, osim o papiru, ovisi i o vrsti svjetlosti u kojoj se promatra. Sjaj papira ovisi o njegovoj sposobnosti da pravilno reflektira svjetlo, a posebno je važan za visokovrijedne grafičke papire jer utječe i na sjaj nanese tiskarske boje. Od grafičkih se papira, osim ostalog, traži i da budu neprozirni kako se tisak s jedne strane ne bi nazirao i na drugoj strani lista.

Svojstva vezana uz čvrstoću papira ispituju se različitim specifičnim metodama. Tako se, npr., istezanje (izraženo u postocima) određuje opterećenjem papira do kidanja, ali su vrednije informacije dobivene iz krivulje ovisnosti produljenja o opterećenju. Kao mjerilo za čvrstoću papira uzima se i maksimalna duljina papira pri kojoj će se traka papira prekinuti zbog svoje težine. Mjeri se i otpornost prema probijanju napetog kružnog uzorka papira opterećenog sve većom silom. Za papire, koji se u upotrebi često preklapaju, važna je otpornost prema oštećenju i kidanju prilikom njihova savijanja i pregibanja.

O svojstvima površine papira ovisi mnogo i njegova prikladnost i upotrebljivost za tisak, koja se ocjenjuje mnogim



Sl. 25. Superkalander za satiniranje писаћих i tiskovnih papira

koje se također provodi s još tako širokom trakom, u tvornicama papira koturi prije otpreme režu u uže koture prikladne širine. To se provodi na stroju za uzdužno rezanje papirne trake (sl. 26). Kotur papira odmatava se i traka se uzdužno reže kružnim noževima, a zatim se ponovno namata na koture. Sustav pomoćnih valjaka s uređajem za kočenje omogućuje ravnomjeran rad i jednoliko namatanje papirne trake bez nabora.

Osim u koture određene širine, papira se traka reže i u listove različitih veličina (formata). Stroj za rezanje u listove prvo reže odmotanu papirnu traku uzdužno na širinu željenog formata, a zatim i poprečno na potrebnu duljinu. Suvremeni strojevi za poprečno rezanje papirne trake uglavnom su potpuno automatizirani i uključuju odmatanje kotura, poprečno rezanje trake u listove određenog formata, kontrolu listova, sortiranje i odbacivanje listova s greškama, slaganje listova u kupove i njihovo otpremanje. Takvi strojevi rade vrlo brzo i mogu u minuti izrezati i do 400 metara papirne trake.



Sl. 26. Stroj za uzdužno rezanje papirne trake

orijentacijskim metodama. Pri tom je u prvom redu potrebno ustanoviti koliko je papir sposoban da primi i da zadrži tiskarsku boju. Važno je svojstvo papira namijenjenog za grafičke svrhe i njegova otpornost prema oštećenju površine, tzv. čupanju, pri okolnostima kojima je papir izložen u tiskarskim strojevima.

Za mnoge je vrste papira prilikom upotrebe najvažnija njihova sposobnost upijanja, ili, nasuprot tome, njihova otpornost prema prodiranju tekućina. To se u prvom redu odnosi na vodu, što je vrlo važno za mnoge sanitarne, ali i za tehničke i specijalne papire kao što je, npr., filterarski papir. Prodiranje i razlijevanje tinte uvjetovano je stupnjem keljenja papira. Od mnogih se papira traži otpornost prema prodiranju masnoća, a posebno se ispituje propusnost papira za pare i plinove. Zbog izrazitog afiniteta celuloze prema vodenoj pari, propusnost papira za vodu paru ne može nikako služiti kao orijentacijska mjera propusnosti za ostale pare i plinove.

Klasifikacija papira. Stoljećima se papir izrađivao uglavnom na isti način i njegovo tradicionalno područje upotrebe nije se mnogo proširivalo. Međutim, naglim razvojem industrijske proizvodnje i načina života i rada u našem stoljeću veoma se povećala proizvodnja papira i proširila područja njegove upotrebe. Proizvodni industrije papira danas su vrlo mnogobrojni i raznoliki te se mogu klasificirati prema različitim kriterijima, npr. prema sirovinama od kojih je papir proizveden, gramaturi, doradbi i glatkoći površine, itd. Papiri mogu biti neobojeni, bijeli ili obojeni, prozirni, djelomično prozirni ili potpuno neprozirni, najčešće su jednoslojni, različite debljine, ali se proizvode i višeslojni papiri, kartoni i ljepenke.

Prema upotrijebljenim sirovinama razlikuje se više vrsta papira. Skoro sve uobičajene vrste papira u najširoj upotrebi pretežno su građene od drvene celuloze, dakle od celuloze dobivene preradbom drvene mase. Rjeđe se upotrebljavaju papiri od celuloze biljaka koje inače služe za dobivanje tekstilnih vlakana. Danas sve više raste interes za primjenu papira od sintetskih polimernih vlakana i anorganskih vlakana (staklenih i drugih).

S obzirom na kvalitetu najviše je od svih celuloznih papira cijenjen tzv. bezdrveni papir. To je papir proizveden od čiste bijeljene ili nebijeljene celuloze bez primjesa drvenjače. Svi ostali papiri proizvedeni od celuloze s primjesom drvenjače jesu srednjefini papiri. Takvi su papiri zbog prisutnog lignina slabije kvalitete, a mnogi s vremenom požute i postaju krti. Mnogi omotni papiri i kartoni osim celuloze i drvenjače sadrže i polucelulozu te papirštinu dobivenu preradbom otpadnog i starog papira. Najlošije je kvalitete smeđa ljepenka, koja se uglavnom proizvodi samo od starog papira i sadrži mnogo drvenjače.

Prema tzv. površinskoj masi (gramaturi) razlikuju se lakši papiri ($10 \dots 60 \text{ g/m}^2$), srednje teški papiri ($60 \dots 120 \text{ g/m}^2$), polukartoni ($150 \dots 200 \text{ g/m}^2$), kartoni ($200 \dots 600 \text{ g/m}^2$) i ljepenke ($> 600 \text{ g/m}^2$).

Kartoni su kruti i čvršći od papira, mogu biti različito površinski obrađeni i sastoje se od jednog ili više slojeva (dupleks-karton, tripleks-karton). U višeslojnim kartonima pojedini se slojevi proizvode od različitih sirovina i različitih su svojstava. Sloj koji će prilikom upotrebe kartona služiti kao vanjski ili gornji sloj obično je gladak, svjetliji i izrađen od kvalitetnije sirovine. Kartoni se veoma mnogo primjenjuju kao ambalažni materijal, rjeđe za pisanje ili za tisak.

Ljepenka je deblja i veće površinske mase od kartona. Čvrsta granica između kartona i ljepenke nije određena, no najčešće se ljepenkom nazivaju proizvodi s gramaturom većom od 600 g/m^2 . Ponekad se, međutim, doradeni proizvodi od kvalitetnijih sirovina nazivaju kartonima bez obzira na veću gramaturu i debljinu.

Prema upotrijebljenim sirovinama razlikuju se bijela i smeđa ljepenka, koje se izrađuju od bijele ili smeđe drvenjače bez dodataka, zatim siva ljepenka (nekeljena) od miješanih papirnih otpadaka, miješana ljepenka od miješanog starog papira i žute slamne celuloze i slamna ljepenka samo od žute slamne celuloze. Površina ljepenke može biti doradena keljenjem, impregniranjem i sl.

Za mnoga je područja upotrebe papira bitan način njegove doradbe i obradbe površine. Po izlasku iz papirnog stroja na papirnu se traku mogu po potrebi nanositi različita sredstva koja papiru daju karakteristična svojstva. Prema tome se razlikuju papiri s neobrađenom površinom, površinski keljeni papiri, papiri s pokrivenom površinom (npr. škrobom, umjetnim smolama, pigmentima, plastičnim masama kao što je polietilen itd.), impregnirani papiri (npr. voštani) itd.

Papiri se razlikuju i prema glatkoći svoje površine. Većina papira prolazi kroz strojni kalander još u sklopu papirnog stroja, pa se po glatkoći površine ocjenjuju kao strojnoglatki papiri. Mnogo veća glatkoća površine papira postiže se satiniranjem, tj. obradbom na superkalanderu. I pri satiniranju postoje gradacije, pa se tako razlikuju zagasito (mat) satinirani, polusatinirani i oštro (sjajno) satinirani papiri. Ponekad se proizvode papiri s neravnom površinom. To mogu biti profilirani i gravirani papiri, zatim papiri s naboranom površinom i sl.

Navedeni načini razlikovanja i razvrstavanja različitih vrsta papira, kartona i ljepenki skupno se reflektiraju u njihovoj podjeli prema namjeni i području upotrebe. Prema tom se kriteriju mnogobrojni proizvodi industrije papira mogu svrstati u četiri velike grupe: grafički papiri, omotni papiri, kartoni i ljepenke, sanitarni papiri i tehnički (i specijalni) papiri.

Među grafičkim papirima razlikuju se papiri za pisanje, za crtanje i za tisak. Između prvih dviju vrsta nema veće razlike u načinu proizvodnje i svojstvima. Od papira za pisanje posebno se traži da su prikladni za pisanje tintom, tj. da se tinta ne razlijeva. To svojstvo, koje je danas sve manje važno, postiže se dodavanjem keljiva, u prvom redu prirodnih smola, u papirnu masu prilikom proizvodnje.

Najveći dio proizvedenog papira služi kao tiskovni papir (papir za tisak). Pri tom se razlikuje tisak teksta (knjige, novine, časopisi) od tiska ilustracija (plakati, prospekti, reprodukcije), pa se prema tome u tiskarstvu upotrebljava mnogo različitih vrsta papira. Tako se za knjige luksuznih izdanja primjenjuje vrlo kvalitetan bezdrveni papir, koji za ilustracije mora biti još posebno gladak i zatvorenih pora. S druge strane, novinski papir (roto-papir) i papir za jeftine časopise sadrži i do 90% drvenjače, a često i mnogo tvari dobivenih preradbom starog papira.

Omotni papiri, kartoni i ljepenke proizvode se uglavnom od starog papira (u prosjeku stari papir čini oko 80% sirovine), ali i od poluceluloze, sulfite ili sulfatne celuloze. Od omotnih se papira traži velika čvrstoća na kidanje, otpornost prema savijanju, dobra rastezljivost i neprobojnost. Kao materijal za ambalažu papir se upotrebljava više od bilo kojeg drugog konkurentnog materijala. O nazivima, svojstvima i upotrebi različitih vrsta omotnih papira, kartona i ljepenki vidi *Ambalaža*, TE 1, str. 251.

Iako je udjel sanitarnih papira u ukupnoj proizvodnji industrije papira relativno malen, njihova se upotreba posljednjih godina mnogo povećala. Osim toaletnog papira, proizvode se danas i mnoge vrste sanitarnog papira, koje kao materijal u različitim područjima primjene potiskuju tekstil (papirnati ručnici, maramice, ubrusi, stolnjaci, krevetne presvlake u bolnicama).

U upotrebi je mnoštvo tehničkih i specijalnih papira najrazličitijih svojstava i namjena. U takve se papire ubrajaju filterarski papiri, kondenzatorski papiri, papiri za izolaciju i oblaganje kabela, za izradbu etiketa, tapeta, dekoracija, papiri za precrtavanje i kopiranje, sirovi fotografski papiri, indikatorski i cigaretni papiri, itd.

Pojedine vrste papira. Važnije i poznatije vrste papira, kartona i ljepenki navedene su abecednim redoslijedom. Mnogi od njihovih naziva stranog su porijekla i uvriježeni su u industriji papira, u tiskarama i trgovini. Ako u opisu pojedine vrste papira nije navedeno drugačije, radi se uglavnom o papiru od drvene celuloze.

Afišni papir, nazvan također plakatnim papirom, većinom se proizvodi u jarkim bojama, jednostrano gladak, nekeljen ili slabo keljen, podesan za tisak plakata i letaka.

Akvarelni papir izrađuje se kao bezdrveni crtači papir (gramatura $80 \dots 350 \text{ g/m}^2$), kao srednjefini crtači papir za školske

crtanke ili od otpadnog tekstilnog materijala kao strojnoglatki papir. Hrapave je površine, prilično krut, punokeljen, površinski obrađen keljivom.

Azbestni papir izrađen je od dugih azbestnih vlakana, bez punila, debljine 0,04–0,15 mm, u trakama širine 1 mm. Upotrebljava se kao materijal za toplinsku i elektroizolaciju, kao filterarski papir za filtriranje jakih kiselina i lužina te kao papir za oblaganje kalendarskih valjaka.

Bankpost papir izrađuje se od bijele celuloze četinjara i celuloze od slame koja mu daje tvrdoću, a rjeđe od krpa. Punokeljen je, bijele boje, ponekad nježnih nijansa, gramature 60–100 g/m², obično s vodenim znakom. Osim podesnosti za pisanje i otpornosti na brisanje, bankpost papir može se upotrijebiti i za tisak.

Bezdrveni papir sadrži bijeljenu ili nebijeljenu celulozu bez primjese drvenjače. Upotrebljava se kao kvalitetan pisači i tiskovni papir.

Biblijski papir ubraja se u grupu tankih tiskovnih papira. To je vrlo kvalitetan bezdrveni papir izrađen od lanenog vlakna ili od drvene celuloze s primjesom celuloze od prerađenog otpadnog tekstilnog materijala biljnog porijekla. Dorađen je satiniranjem, vrlo je čvrst, gramature 25–50 g/m², djelomično proziran, bijel do slabo žute boje. Upotrebljava se za tiskanje priručnih knjižica malog formata i tankih listova kao što su džepni kalendari ili, npr., Biblije, po kojoj je tako nazvan, zatim za tiskanje prospekata, uputa za upotrebu lijekova itd.

Bristolski karton sastoji se iz tri sloja, od kojih je srednji s primjesom drvenjače, dok su dva vanjska bezdrvena. Karton je keljen i dobro satiniran, gramature 250–1000 g/m², prikladan za različite postupke tiskanja. Primjenjuje se za izradbu luksuznih kataloga, dopisnica, razglednica i kao vredniji materijal za ambalažiranje.

Bugačica, bezdrveni ili srednjefini papir s velikom sposobnošću upijanja tekućina (tinte) i širokim granicama gramature (35–350 g/m²) i debljine (0,12–0,30 mm).

Cigarettni papir, vrlo tanak, čvrst nekeljeni papir od bijeljenog lana ili konoplje. Međutim, danas se uglavnom traži proizvod sa što više drvene bijeljene sulfatne celuloze. Papir sadrži 20–33% punila u obliku kalcij-karbonata kako bi sagorijevanje cigareta bilo što potpunije. Gramatura papira iznosi 12–22 g/m². Propustljivost za zrak bila je ranije razmjerno mala (60–75 cm³/min kroz površinu 1 cm²), ali se danas zahtijeva da propustljivost bude 3 puta veća.

Ciklostilni papir, bezdrveni ili srednjefini papir, voluminozan, nekeljen do slabo keljen, strojnogladak, gramature 60–90 g/m², bijel ili svijetlo obojen; upotrebljava se kao papir za umnožavanje na istoimenom stroju.

Crni papir, strojnogladak ili satinirani papir, potpuno nepropustan za svjetlo. Služi kao zaštitni materijal za umotavanje fotografskih filmova, ploča i papira. Crni papir kao ambalaža za šivaće igle oštro je satiniran i slabije obojen.

Crtaci papir i karton izrađeni su od drvene celuloze i otpadnog tekstilnog materijala. Samo školski crtači papiri imaju primjese drvenjače. Dobro su keljeni, vrlo otporni na brisanje, neznatne su glatkoće, a neki tehnički papiri i papiri za umjetničke slike mogu imati vrlo zrnatu površinu. Razlikuje se papir za crtanje ugljenom, kredom, akvarelom, temperom i uljem, crtači papir za školsku upotrebu i za crtanje perom. U tehničke svrhe upotrebljava se crtači papir za radioničke nacрте, transparentni crtači papir, naravni paus-papir, uljni paus-papir i paus-platno.

Dijagramski papir, bezdrveni, dobro satinirani pisači papir gramature 80–120 g/m², velike dimenzijske stabilnosti i otpornosti na brisanje. Izrađuje se ponekad kao transparentni papir na kojemu se tiska koordinatni raster (milimetarski, logaritamski i sl.). U obliku kotura ili dijagramskih okruglih listova služi za registriranje podataka na instrumentima.

Dokumentni papir, visoko kvalitetni pisači papir, otporan prema starenju. Upotrebljava se za dokumente (isprave) trajne vrijednosti. Izrađuje se od prerađenog otpadnog tekstilnog materijala ili od čiste drvene celuloze u gramaturi 100–120 g/m².

Fascikleni karton, bezdrveni ili srednjefini, punokeljeni karton, gramature 250–350 g/m². Izrađuje se kao strojnogladak

ili satinirani jednostrano gladak, vrlo je krut i veoma čvrst na cijepanje i pregibanje. Služi za odlaganje spisa i u druge slične svrhe.

Filterarski papir proizvodi se od bijeljene celuloze ili pamuka, nekeljen je i kemijski čist. Razlikuje se tehnički filterarski papir i filterarski papir za kemijsku analizu. Njegova se kvaliteta ocjenjuje prema poroznosti, tj. prema sposobnosti odjeljivanja čvrstih suspendiranih čestica i prema brzini kojom propušta tekućinu, što je ovisno o finoći i broju pora u papiru. Filterarski papir treba da ostavlja vrlo malo pepela. Gramatura običnog filterarskog papira iznosi 85–140 g/m², specijalnog do 180 g/m², a filterarskog kartona do 200 g/m².

Fotografski papir, papir s nanesenim materijalom osjetljivim na svjetlo, pa služi za izradbu fotografija (v. *Fotografija*, TE 5, str. 532).

Havana papir, pergaminu sličan celulozni omotni papir sa staklastom prozirnošću i s gramaturom 40–50 g/m².

Ilustracijski papir, većinom srednjefini, ponekad i bezdrveni papir, djelomično keljen, visoke glatkoće, do 30% pepela, gramature 55–80 g/m². Upotrebljava se za tiskanje periodičnih izdanja u kojima osim teksta ima i mnogo slika.

Indigo papir prevučen je jednostrano slojem plavo obojene voštane mase i služi za kopiranje prilikom pisanja.

Indikatorski papir. Razlikuju se dvije vrste indikatorskih papira. Na papir prve vrste nanesen je sloj cink-oksida ili smjese barij-sulfata, kaolina i ljepila, a služi kao papir na kojem se iglom registriraju podaci u indikatorskim aparatima. U drugu vrstu indikatorskih papira ubraja se bezdrveni, nekeljeni papir impregniran indikatorskim tvarima, koje prema nekom svojstvu sredine reagiraju mijenjajući boju. Najpoznatiji indikatorski papiri jesu oni kojima se utvrđuje kiselost ili alkaličnost.

Japanski papir, vrlo kvalitetan, ručno izrađen papir od tankih, finih, vrlo dugih, gipkih i čvrstih vlakana dobivenih od nekih odabranih biljaka što rastu u Japanu.

Jednostrano gladak papir. Jedna je strana tog papira vrlo glatka, dok mu je druga uobičajeno strojnoglatka. Jednostrana visoka glatkoća postiže se na papirnom stroju pomoću valjka za dobivanje jednostrane glatkoće. Izrađuje se najčešće od drvene celuloze u gramaturi 20–120 g/m², a upotrebljava se kao omotni i plakatni papir, papir za koverte i sl.

Kabelski papir izrađuje se od nebijeljene sulfatne celuloze, a ponekad i uz dodatak celuloze od otpadnog tekstila. Služi kao izolacijski materijal u elektrotehnici. Velike je uzdužne čvrstoće i jednolične debljine, mora biti gibak, rastezljiv i strojnogladak. Izrađuje se u različitim bojama i s gramaturama 16–18 g/m².

Kalandrirani papir dorađen je na superkalanderu na kojemu djelovanjem tlaka i topline uz određenu vlažnost dobiva veliku glatkoću i sjaj, a po potrebi i transparentnost. Naziva se i satiniranim papirom.

Karbonski papir, bezdrveni celulozni ili od tekstilnih otpadaka proizvedeni papir, gramature 16–30 g/m², premazan jednostrano finom voštanom masom s primjesom čađe ili nekog drugog pigmenta. Služi za dobivanje kopija, u prvom redu prilikom tipkanja pisačim strojem.

Kartografski papir, bezdrveni punokeljeni i satinirani papir s gramaturom 90–120 g/m², ravne površine, prikladan za tiskanje u kamenotisku ili ofsetnim postupkom. Služi za izradbu geografskih karata i planova.

Karton za dopisnice, punokeljeni satinirani karton s gramaturom 170 g/m². Izrađuje se od različitih sirovina s dodatkom drvenjače ili od čiste drvene celuloze.

Kartotečni karton, srednjefini ili bezdrveni karton s gramaturom 190–400 g/m², punokeljen, strojnogladak ili satiniran. Izrađuje se u više boja i mora biti otporan na savijanje. Upotrebljava se za izradbu kartotečnih kartica.

Kondenzatorski papir, vrlo tanak papir (debljine 0,006–0,020 mm) s malom gramaturom (6–10 g/m²). Proizvodi se od vrlo kvalitetne sulfatne celuloze ili od celuloze dobivene preradbom otpadnog tekstilnog materijala. Oštro je satiniran, jednolične debljine, impregniran i neporozan. Upotrebljava se u proizvodnji kondenzatora, u kojima služi kao dielektrik.

Koričar, papir ili karton s velikom otpornošću na savijanje. Izrađuje se u gramaturi 150...300 g/m² kao bezdrveni ili srednjefin, bijel ili obojen, punokeljen, profiliran, satiniran, strojno ili jednostrano gladak. Služi za izradbu korica tankih brošura, zaštitnih omota knjiga itd.

Kraft-papir, v. *Natronski papir*.

Krep-papir, bezdrveni ili srednjefini papir, naboran na stroju mnoštvom sitnih nabora. Odlikuje se mekoćom i rastezljivošću. Služi kao ambalažni papir za zamatanje krhkih proizvoda, za izradbu papirnatih stolnjaka i ubrusa, a obojen jarkim bojama upotrebljava se i u dekorativne svrhe.

Krovna ljepjenka izrađuje se kao sirova pustena ljepjenka gramature 333...500 g/m², koja se impregnira katranom ili bitumenom. U prodaju dolazi u koturima i upotrebljava se kao izolacijski materijal u građevinarstvu.

Listovni papir, bezdrveni bijeli ili blago obojeni, punokeljeni, satinirani papir, gramature 60...100 g/m². Upotrebljava se za pisanje rukom.

Natronski papir (*kraft-papir*) proizvodi se od nebijeljene ili bijeljene sulfatne celuloze s veoma velikom čvrstoćom na istezanje. Karakteristične je smeđe boje. Natronski papir za izradbu vreća keljen je i vodootporan, strojnogladak ili jednostrano gladak, gramature oko 80 g/m². Natronski papir manje gramature (20...30 g/m²) služi kao kabelski, toaletni ili kao omotni papir za specijalne svrhe, a najtanji (6...12 g/m²) kao kondenzatorski papir.

NCR papir naziv je za papir koji služi za pisanje i istodobno dobivanje kopija bez upotrebe posebnog papira za kopiranje kao što su indigo papir i karbonski papir. Poledina NCR papira premazana je želatinom koja sadrži u ulju otopljeno sredstvo za stvaranje boje, dok je površina donjeg lista papira (na koji se kopira) premazana slojem u kojem se boja stvara (obično aktivirani bentonit u prikladnom vezivu). Pritiskanjem jednog papira na drugi prilikom pisanja aktivni se slojevi dovode u kontakt, pa stvaranjem boje nastaje kopija.

Nepromočivi papir, vodootporni papir, koji zadržava svoja mehanička svojstva i nakon potpunog vlaženja vodom.

Nepropusni papir gotovo je potpuno nepropustan za masnoće, ali većinom ne i za vodu. Obično se dobiva tzv. masnim mljevenjem ili pergamentiranjem, tj. obradbom sulfatnom kiselinom ili cink-kloridom. Tako se proizvodi pergamentni papir, dok se pergamentni nadomjestak ili pergamin dobiva masnim mljevenjem pergaminske celuloze. Nepropusni papir može se proizvesti i kaširanjem papira i premazivanjem plastičnim masama te metaliziranjem.

Novinski papir (roto-papir), srednjefini papir s mnogo drvenjače i s malim udjelom punila (kaolina). Neobojen je ili slabo obojen, strojnogladak, gramature 50...55 g/m², sadrži do 10% vlage kako ne bi bio previše krhak. Ne smije sadržavati grubih nečistoća, pješčanih zrnaca i djelića drvenjače. Izrađuje se u velikim koturima i služi za tisak dnevnih i periodičnih listova na rotacijskom stroju.

Ofsetni papir, strojnogladak papir namijenjen za ofsetni tisak. Kako taj tisak ovisi o kvaliteti papira više od bilo kojeg drugog tiskarskog postupka, to se od ofsetnog papira vrlo mnogo traži s obzirom na dimenzijsku stabilnost, površinsku čvrstoću, prašenje, čerupanje, jednoličnu debljinu i vlažnost.

Papir za autotipiju, bezdrveni i srednjefini tiskovni papir. Zbog svoje ujednačene površine i glatkoće podesan je za autotipiju s najfinijim rasterom.

Papir za bakrotisak, bezdrveni papir od otpadnog tekstilnog materijala ili drvene celuloze te srednjefini papir, nekkeljen ili slabo keljen, podatne mekoće i dobrog upijanja tiskarskih boja, gladak i otporan na prašenje.

Papir za duboki tisak, srednjefini tiskovni papir s primjesom 40...60% drvenjače i do 30% punila, oštro satiniran, gramature 50...60 g/m². Upotrebljava se za tisak ilustriranih časopisa u velikim nakladama.

Papir za kamenotisak, bezdrveni ili srednjefini tiskovni, punokeljeni papir. Papir mora biti mekan i dobre dimenzijske stabilnosti zbog višebojnog tiska. Upotrebljava se za tisak geografskih karata i za etikete.

Papir za pisači stroj, strojnogladak bezdrveni papir, podatan za pisanje na pisačim strojevima, gramature 60...90 g/m², punokeljen, s dobrom otpornošću na brisanje.

Papir za tapete, srednjefini, punokeljeni papir, strojnogladak i voluminozne strukture. Gramatura papira za jednostavne tapete iznosi 65...85 g/m², a za bolju kvalitetu 95...120 g/m².

Papir za umjetnički tisak, bezdrveni ili srednjefini papir, obostrano jednolično prekriven slojem pigmenta, velike glatkoće i visokog sjaja, gramature 80...200 g/m². Namijenjen je za tisak s finim rasterom za ilustrirane knjige, časopise, kataloge, prospekte i višebojne umjetničke reprodukcije.

Papir za valovitu ljepjenku (fluting-papir), sirovi papir koji se upotrebljava za izradbu valovitog sloja u proizvodnji valovite ljepenke. Izrađuje se od poluceluloze, kemijske drvenjače, starog papira, drvene celuloze, slame i njihovih mješavina u gramaturi 112...150 g/m². Njegova se kvaliteta ocjenjuje otpornošću valovitog sloja prema tlačenju.

Papir za vreće, punokeljen i vodootporan papir, gramature 70...90 g/m², otporan na savijanje i probijanje. Upotrebljava se za proizvodnju velikih višeslojnih vreća sadržine i do 50 kg.

Paus-papir, proziran, tanak bezdrveni crtači i pisači papir, vrlo tvrd i čvrst, bez punila, dobro keljen površinski ili u masi, proniknut nekim sušivim uljem, lakom ili balzomom.

Pelirni papir (florpost-papir), vrlo fini bezdrveni papir, tanak, lako transparentan, visoko satiniran, bez punila, bijel ili obojen, gramature 25...40 g/m². Upotrebljava se kao pisači papir, zatim za tiskanje ljekarničkih uputa, a proizveden u jednoj ili više boja služi kao fini omotni papir.

Pergamentni papir, vrsta čvrstog, poluprozirnog papira nepropusnog za masnoće, koji je izgledom i svojstvima vrlo sličan pergamentu. Proizvodi se pergamentiranjem, tj. obradbom sulfatnom kiselinom ili cink-kloridom.

Pisači papir, bezdrveni papir, srednjefini papir ili papir s malom primjesom drvenjače, gramature 60...90 g/m². Bijel je ili obojen pastelnim tonovima, satiniran ili strojnogladak, a bolje vrste imaju vodeni znak. Upotrebljava se za pisanje, punokeljen je i neproziran, pa se tintom može pisati na obje strane.

Prešpan, v. *Prešani karton*.

Prešani karton (prešpan; njem. Preßspan), karton ili ljepjenka velike čvrstoće i gustoće, jednolike debljine i vrlo glatke površine. Upotrebljava se za izradbu omota za bilježnice, za fascikle i pregradne kartone, a u elektroindustriji kao materijal za izolaciju (v. *Elektrotehnički materijali*, TE 5, str. 97).

Prosti papir za zamatanje (šrenc-papir, njem. Schrenzpapier), nekvalitetan papir izrađen od nesortiranog starog papira, gramature > 80 g/m². Upotrebljava se kao omotni papir, za izradbu ambalažnih vrećica, a u većim gramaturama služi kao ravni sloj u proizvodnji valovitog kartona.

Protokolski papir, bezdrveni papir, djelomično s primjesom celuloze od tekstilnog materijala, punokeljen, gramature 90...120 g/m², dobre glatkoće i otpornosti na brisanje, pregibanje i kidanje. Upotrebljava se za izradbu poslovnih i matičnih knjiga, obrazaca, dokumenata trajnije vrijednosti, knjigovodstvenih kartica itd.

Roto-papir, v. *Novinski papir*.

Satinirani papir dobiva se doradbom papira na superkalanderu i odlikuje se vrlo glatkom površinom. Razlikuje se oštro (sjajno) satinirani i zagasito (mat) satinirani papir. Naziva se i kalandriranim papirom.

Sigurnosni papir, fini bezdrveni papir, ponekad s vodenim znakom, obrađen kemikalijama (metalnim solima) i specijalnim bojama da se onemogući krivotvorenje. Namijenjen je izradbi novčanica i dokumenata.

Smeđi omotni papir, grubi smeđi papir izrađen od smeđe drvenjače, većinom jednostrano gladak ili obostrano satiniran, gramature 40...150 g/m². Za pakovanje osjetljive staklene i porculanske robe upotrebljava se jednostrano gladak omotni svileni papir manje gramature (20...22 g/m²).

Svileni papir, skupni naziv za tanke, poluprozirne omotne papire male gramature (6...25 g/m²) i male čvrstoće. Izrađuje se od celuloze i drvenjače, rjeđe od krpa (ali ne od svile, kojoj je po svojstvima sličan).

Šrenc-papir, v. Prosti papir za zamatanje.

Toaletni papir, bezdrveni ili srednjefini, mekani, upijajući papir, katkada i krep-papir, gramature 40...60 g/m².

Uredski papir, bijeli, bezdrveni, punokeljeni pisači papir s dobrim mehaničkim svojstvima, gramature 70...80 g/m². Služi

kao papir za spise trajne vrijednosti koji se često upotrebljavaju.

Visokosjajni papir, osobito oštro satinirani papir ili karton velike glatkoće i visokog sjaja. Na takvim se papirima postižu vrlo kvalitetne reprodukcije s najbogatijom paletom tonova.

Tablica 1
FORMATI PAPIRA

Razred	Osnovni red		Dopunski redovi					
	A		B		C		D	
	Oznaka	Mjera (mm)	Oznaka	Mjera (mm)	Oznaka	Mjera (mm)	Oznaka	Mjera (mm)
	4A0	1682 × 2378						
	2A0	1189 × 1682						
0	A0	841 × 1189	B0	1000 × 1414	C0	917 × 1297	D0	771 × 1090
1	A1	594 × 841	B1	707 × 1000	C1	648 × 917	D1	545 × 771
2	A2	420 × 594	B2	500 × 707	C2	458 × 648	D2	385 × 545
3	A3	297 × 420	B3	353 × 500	C3	324 × 458	D3	272 × 385
4	A4	210 × 297	B4	250 × 353	C4	229 × 324	D4	192 × 272
5	A5	148 × 210	B5	176 × 250	C5	162 × 229	D5	136 × 192
6	A6	105 × 148	B6	125 × 176	C6	114 × 162	D6	96 × 136
7	A7	74 × 105	B7	88 × 125	C7	81 × 114	D7	68 × 96
8	A8	52 × 74	B8	62 × 88	C8	57 × 81	D8	48 × 68
9	A9	37 × 52	B9	44 × 62	C9	40 × 57	D9	34 × 48
10	A10	26 × 37	B10	31 × 44	C10	28 × 40	D10	24 × 34
11	A11	18 × 26	B11	22 × 31				
12	A12	13 × 18	B12	15 × 22				

Tablica 2
20 NAJVEĆIH SVJETSKIH PROIZVOĐAČA PAPIRA
I KARTONA U 1984.

Zemlja	Proizvodnja papira i kartona tisuće tona	Potrošnja papira po stanovniku kg
SAD	62 307	287
Japan	19 345	169
Kanada	14 222	200
SSSR	9 825	34
SR Njemačka	9 157	176
Kina	7 560	8
Finska	7 318	180
Švedska	6 869	222
Francuska	5 566	126
Italija	4 714	93
Brazil	3 765	25
Velika Britanija	3 507	134
Španjolska	2 950	79
Meksiko	2 240	30
Republika Koreja	2 207	54
Tajvan	1 929	104
Austrija	1 922	120
Nizozemska	1 885	171
Norveška	1 562	146
Australija	1 559	142

Tablica 3
PROIZVODNJA PAPIRA I KARTONA U JUGOSLAVIJI I POTROŠNJA
PO STANOVNIKU

Godina	Proizvodnja tisuće tona	Izvoz tisuće tona	Uvoz tisuće tona	Potrošnja po stanovniku kg
1955.	72			6
1960.	156			11
1965.	394			19
1970.	532			31
1975.	699			37
1976.	812	105	81	36
1977.	921	103	130	43
1978.	955	92	112	46
1979.	1032	109	109	46
1980.	1144	122	84	49
1981.	1196	143	113	56
1982.	1190	140	93	51
1983.	1229	128	71	50
1984.	1331	234	78	57

Tablica 4
PROIZVODNJA POJEDINIHR VRSTA PAPIRA, KARTONA I LJEPENKI U JUGOSLAVIJI
(u tisućama tona)

Vrsta papira	Godina										
	1939.	1946.	1951.	1960.	1977.	1978.	1979.	1980.	1981.	1982.	1983.
Roto-papir				28,5	96,2	96,3	84,3	45,5	51,7	28,8	27,7
Bezdrveni tiskovni i pisači papir					121	134	127	134	150	169	149
Srednjefini tiskovni i pisači papir	19,4	23,4	27,2	46,9	11,9	12,8	14,4	45,9	56,9	54,8	51,3
Ostali tiskovni i pisači papir					61,4	61,6	79,7	88,3	77,8	102,2	114,7
Papir za tapete					2,9	2,9	3,6	6,3	4,9	2,3	3,0
Natronsni papir	2,4	2,3	1,7	30,6	154	149	146	127	131	128	133
Omotni i ambalažni papir	10,7	10,0	15,5	28,5	264	285	290	314	338	332	361
Cigaretni papir	1,7	0,8	1,5	2,1	5,3	5,7	5,8	6,2	6,2	5,2	6,8
Premazni papir					23,5	30,2	40,5	66,2	64,1	48,1	48,1
Ostali papir					47,1	52,6	63,0	61,2	61,9	63,4	34,2
Karton	7,2	5,2	7,6	13,5	72,6	67,7	120	132	172	174	187
Ljepenka	5,4	4,2	7,2	23,6	52,0	49,9	49,4	47,3	47,7	45,4	41,6
Valoviti karton					216	244	264	293	310	283	300
Natronske vreće	1,8	4,2	5,1	22,4	69,9	72,9	72,8	67,2	71,8	59,9	80,1
Zidne tapete					7,0	7,9	10,9	12,5	14,1	12,9	13,6
Ambalaža od papira, kartona i ljepenke					322	357	400	432	468	451	458

Voluminozni tiskovni papir, mekan, elastičan, strojnogladak, bezdrveni papir male gustoće i bez punila. Od papira te grupe najpoznatiji je perolaki papir.

Voštani papir, bezdrveni celulozni papir obrađen s jedne ili s obje strane parafinom ili cerezinom kako ne bi propuštao zrak ili vodu. Upotrebljava se za zamatanje kolača, kruha, bombona, britvica i sl.

Formati papira. Oblik i veličina papira rezanog u listove izražava se formatima papira. Formatu su uvjetovani širinom proizvodnih strojeva u grafičkoj industriji i industriji papira, te ekonomskim, praktičnim i estetskim faktorima. Nekada je prilikom ručne izradbe papira format ovisio o veličini i obliku ručnog sita. Kasnije su formate papira određivali pojedini proizvođači papira, pa je bilo više različitih i međusobno neproporcionalnih formata. Dogovorom njemačkih proizvođača papira postignutim 1883. godine bilo je definirano 12 formata, koji su se tada počeli mnogo primjenjivati. U Njemačkoj i u nekim drugim evropskim zemljama uvedeni su 1920. godine standardni formati, koji se od tada primjenjuju i u našoj zemlji u grafičkoj industriji i industriji papira.

Današnji standardni formati papira imaju oblik pravokutnika, a njihova se veličina izražava duljinom stranica (u mm). Duljine stranica standardnog formata odnose se međusobno kao $1 : \sqrt{2}$, tj. kao stranica kvadrata prema svojoj dijagonali. Duljina manje stranice (m) odnosi se prema većoj (M) kao veća stranica prema dvostrukoj duljini manje stranice ($m : M = M : 2m$). Iz toga slijedi da se raspolavljanjem ili sastavljanjem dvaju listova standardnog formata uzduž njihovih duljih stranica dobije ponovno format jednakih proporcija.

Formati papira svrstavaju se u nekoliko redova (tabl. 1). Osnovni red formata nosi oznaku A uz koju se, već prema veličini pojedinog formata, stavljaju i brojevi. Početni format A0 izabran je tako da mu je površina 1 m^2 , pa mu stranice moraju iznositi $841 \text{ mm} \times 1189 \text{ mm}$. Manji formati dobiveni raspolavljanjem po duljoj stranici nose oznake s rastućim brojevima. Osim osnovnog reda formata A, definirani su i tzv. zavisni redovi formata B, C i D, koji se često primjenjuju za omotnice, mape, fascikle i sl. Red formata B definiran je tako da duljina manje stranice njegova početnog formata B0 iznosi 1000 mm . Red formata C nalazi se po svojoj veličini između redova formata B i A, dok je red formata D najmanji.

PROIZVODNJA I POTROŠNJA PAPIRA

Svjetska proizvodnja i potrošnja papira, kartona i ljepenke stalno raste. Tako je 1950. godine proizvedeno 43,7 milijuna tona, 1960. godine 74,9 milijuna tona, a 1976. godine 154,1 milijuna tona papira (uključujući i ljepenku). Iste godine, 1976, trošilo se u svijetu prosječno 38 kg papira po stanovniku. Već 1979. godine proizvodnja papira i kartona porasla je na 170,8 milijuna tona, a 1984. godine na 189,9 milijuna tona. Pregled 20 najvećih proizvođača papira i kartona u 1984. godini i potrošnju papira po stanovniku u tim zemljama daje tabl. 2.

I u Jugoslaviji se nakon drugoga svjetskog rata proizvodnja papira, kartona i ljepenke stalno povećavala, a usporedno s tim rasla je i potrošnja tih proizvoda po stanovniku (tabl. 3). Primjećuje se da se uvoz ne povećava, dok izvoz uglavnom prati povećanu proizvodnju. U pregledu proizvodnje pojedinih vrsta papira, kartona i ljepenki u Jugoslaviji (tabl. 4) vidi se stalan porast sve do 1978. godine. Od tada se, međutim, proizvedene količine nekih proizvoda industrije papira smanjuju, što je osobito izraženo za novinski papir, a nešto manje za natronski papir.

LIT.: K. W. Britt, Pulp and Paper Technology. Van Nostrand Reinhold Co., New York 1970. — J. D. Parker, The Sheet-Forming Process. Tappi, Atlanta 1972. — A. Opherden, Zellstoff und Papier. VEB Fachbuchverlag, Leipzig 1976. — Europa-Birkner, Handbuch der Herstellung und Verarbeitung von Zellstoff, Papier und Pappe. Birkner & Co. Vlg., Hamburg 1977. — J. Grant, H. H. Young, Paper and Board Manufacture, Technical Division. The British Paper and Board Industry Federation, London 1978.

J. Kos

PARAZITNE ELEKTROMAGNETSKE POJAVE, elektromagnetsko djelovanje iz prirodnih ili umjetnih izvora koje se pojavljuje kao smetnja u radu elektroničkih, električnih ili elektromehaničkih uređaja. Elektromagnetske smetnje mogu se od izvora do uređaja koji ometaju prenosi provodećim, kad su izvor i uređaj neposredno spojeni vodičima ili vodljivim plohama, električnim ili magnetskim poljima na manje udaljenosti, ili zračenjem na veće udaljenosti. Može se smatrati da elektromagnetske smetnje onečišćuju okoliš. One mogu onemogućiti ispravno funkcioniranje uređaja, a mogu biti i opasne za ljude i životinje.

U uređajima ili sustavima ima dijelova koji proizvode elektromagnetsku energiju i onih koje ta energija može ometati u normalnom radu. Prema tome, mogu nastati smetnje unutar uređaja ili sustava i smetnje među uređajima ili sustavima. Utjecaj unutrašnjih smetnji može se smanjiti ili tokom projektiranja, ili korekcijskim zahvatima na već izgrađenom uređaju. Smetnje među uređajima mnogo je teže smanjiti, jer se smetnje mogu prenositi na veliku daljinu, jer uređaji pripadaju različitim korisnicima i jer često uređaji istodobno zrače i uzimaju elektromagnetsku energiju (npr. radio-komunikacijski sustavi).

Svaki uređaj na koji može djelovati električna struja ili napon, električno ili magnetsko polje, odnosno elektromagnetsko zračenje, može biti ometan. Takvi uređaji mogu biti osjetljivi na smetnje u uskom ili širokom frekvencijskom pojasu. Teško je, međutim, definirati prag osjetljivosti na smetnje, jer za to treba definirati granice ispravnog rada.

Elektromagnetska kompatibilnost sposobnost je električnog ili elektromehaničkog uređaja ili sustava da ne bude ometan u svojoj osnovnoj funkciji, ili da svojim djelovanjem ne smanji sposobnost rada drugih uređaja ili sustava. Da bi se osigurao visoki stupanj elektromagnetske kompatibilnosti, potrebno je razraditi postupke kojima se mogu predvidjeti moguće prilike i utjecaji. To zahtijeva proučavanje i poznavanje izvora elektroenergetskih smetnji, prijenosnog puta smetnji i odziva ometanog uređaja.

IZVORI I PRIJENOSNICI ELEKTROMAGNETSKIH SMETNJI

Prirodni izvori elektromagnetskih smetnji mogu se prema mjestu nastanka svrstati u zemaljske i izvanzemaljske izvore. Uzroci su zemaljskih smetnji većinom prijelazne pojave, odnosno električna izbijanja, dok su izvanzemaljske smetnje više stacionarne pojave slične šumu ograničenog spektra.

Na frekvencijama nižim od $\sim 30 \text{ MHz}$ najveća je smetnja *atmosferski šum* koji se prenosi zračenjem, a nastaje izbijanjem za vrijeme oluja (v. *Električna pražnjenja u plinovima*, TE 3, str. 563). Spektralno je toga šuma širok i njegove su glavne komponente na frekvencijama između 2 kHz i 30 MHz . Pretežni dio atmosferskog šuma u umjerenom klimatskom pojasu nastaje ljeti, a u tropskom pojasu zimi zbog oluja. Atmosferski šum kao elektromagnetski val može doprijeti refleksijom od ionosfere i tisuću kilometara daleko od izvora. Na temelju podataka registriranih u promatračkim stanicama izrađene su karte s predviđenim jakostima atmosferskog šuma, i to po šest karata za svako godišnje doba, jer je dan podijeljen na 6 razdoblja po 4 sata. Na kartama su ucertane krivulje konstantnog faktora šuma F_{am} u decibelima (dB), uz središnju frekvenciju od 1 MHz , koji je razina atmosferskog šuma s obzirom na termički šum određen izrazom kT_0B , gdje je k Boltzmannova konstanta, $T = 293 \text{ K}$, a B širina frekvencijskog pojasa. Kad je potrebno odrediti razinu snage šuma uz neku drugu središnju frekvenciju, upotrebljava se dijagram na sl. 1. Faktor šuma F_{am} odgovara vrijednosti medijane, pa je za poznavanje mogućih varijacija potrebno poznavati i rasipanja vrijednosti po godišnjem doba i satima u danu.

Smetnje mogu nastati i zbog djelovanja *električnog naboja*. Nagomilani naboj na vodljivim plohama, koje su dijelovi antena i metalnih konstrukcija, u blizini antena može djelovati tako da se pojavi korona ili proboj dielektričnih materijala. Karakteristike takovih smetnji teško je predvidjeti. Radio-komunikacijski uređaji na avionima najčešće su ometani takovim smetnjama.