

UKRUPNJIVANJE PELETIRANJEM (peletiranje), ukрупnjavanje praškastog ili finožmatog materijala u proizvod kuglasta oblika nazvan *pelet* (engl. *pellet*, kuglica). Promjer je peleta 2...20 mm, već prema području njihove upotrebe.

Peletiranje je danas važna operacija procesne tehnike i uz briketiranje i sinteriranje jedan je od tri osnovna načina aglomeriranja tvari. Proizvodi peletiranja, peleti, mogu se lako prilagoditi potrebama dalje preradbe i primjene. Peletiranje se najviše primjenjuje u rudarstvu, metalurgiji i kemijskoj tehnologiji. Tipične su sirovine za peletiranje: rude i rudni koncentri, prženci crne i obojene metalurgije, cement, fosfati, umjetna gnojiva, kemikalije, polimerni materijali, detergentski, lijekovi, praškasti proizvodi prehrambene industrije itd.

Prednosti su peletiranja smanjenje gubitaka materijala zbog prašenja, lakše rukovanje materijalom, prikladnost za transport, definirano ponašanje materijala u mirnom sloju, te prilikom potresanja, strujanja i protoka. Osim toga, nekim se tvarima peletiranjem poboljšavaju tehnološka svojstva, što je posebno važno u metalurgiji željeza.

U razvoju peletiranja izražene su tri etape. Početak seže u 1912. godinu, kad je švedski znanstvenik Anderson prijavio patent za peletiranje ruda. U Njemačkoj 1913. godine C. A. Brackelsberg također prijavljuje postupak za proizvodnju granula s dodatkom vode i vezivnog sredstva. Postupak se primijenio tek 1929. godine u Rheinhausenu u Rurskoj oblasti, gdje je izgrađeno prvo poluindustrijsko postrojenje dnevne kapaciteta 120 t peleta. Druga etapa započinje 1942. radovima E. W. Daviesa sa sveučilišta u Minnesoti (SAD), koji je razradio postupak proizvodnje peleta iz koncentrata takonita (vrsta željezne rude magnetita). Na toj se osnovi grade 1947. i 1948. u Americi prva poluindustrijska postrojenja (Aurora, Eshled). Istodobno su u Švedskoj puštena u rad dva poluindustrijska postrojenja dnevne kapaciteta 100 t peleta. Treća etapa započinje 1955. godine, kad se u SAD puštaju u rad dva industrijska postrojenja za peletiranje ruda (Reserve Mining Co. i Erie Mining Co.) ukupnoga godišnjeg kapaciteta 12 milijuna tona peleta.

U nas je prve pokuse na peletiranju načinio prof. V. Logomerac u Željezari Sisak (1952-55). U bivšoj Jugoslaviji prvo industrijsko postrojenje godišnjeg kapaciteta 120 000 t pušteno je u rad 1965. godine u Rudnicima i Željezarnici »Skopje«.

Peletiranje započinje pripravljanjem mješavine od praškaste sirovine za peletiranje i kapljevine, obično vode (6...9%), a ponekad i veziva. Ta se mješavina rotira u bubnjevima ili tanjurima, pa se pritom krupnija zrna kotrljaju po sitnima i vežu ih djelovanjem površinske napetosti vode. Tako nastaju tzv. *zeleni (sirovi) peleti*, vlažne kuglice promjera 8...20 mm. Oni još nemaju čvrstoću potrebnu za eventualni transport i za upotrebu, pa se moraju očvrstiti daljom preradbom.

Svojstva sirovine za peletiranje. Pogodnost nekog materijala da se peletira ovisi o brzini stvaranja i rasta peleta, a zavisi od njegova granulometrijskog sastava, oblika i karakteristika površine zrna te od drugih fizikalnih i kemijskih svojstava.

Veličina zrna i čvrstoća zelenih peleta obrnuto su razmjerni. Optimalnom se veličinom zrna rudnih koncentrata smatra klasa do 0,13 mm, pri čemu udio frakcije s veličinom zrna do 0,04 mm treba biti 75%; toj klasi zrna odgovara specifična površina od 2 000 cm²/g.

Zrna sirovine mogu imati poliedarski, sferični, pločasti, dendritni, igličasti ili koji drugi oblik. Za čvrstoću je zelenih peleta najvažnija specifična površina zrnaca, a ta je najveća u igličaste strukture. Osobito je nepovoljna dendritna struktura (npr. kao u piritnih izgoritina), jer prilikom peletiranja među zrnima nastaju samo slabi točkasti kontakti. Sitna zrna s pločastom ili igličastom strukturom u koksu pogoršavaju sposobnost peletiranja, dok je zrna s hrapavom i poroznom površinom poboljšavaju.

Kemijski sastav materijala važan je za ocjenu njegove prikladnosti za peletiranje. Tako se od koncentrata željeznih ruda peletiraju samo oni s najmanje 60...65% željeza, a samo iznimno i s manjim udjelom.

Na sposobnost materijala da se peletira utječu fizikalne pojave na površini zrna, u prvom redu *hidrofilnost* (kvašljivost). Ona omogućuje pojavu površinskih adhezijskih sila zbog napetosti površine, a te su sile bitan preduvjet za uspješno peletiranje.

Veziva. Tlačna čvrstoća zelenih peleta većinom iznosi do 7 N po peletu, što nije dovoljno za njihovu dalju obradbu. Zato se pri peletiranju upotrebljavaju različita veziva radi povećanja čvrstoće i otpornosti peleta prema brzom zagrijavanju, čime se poboljšavaju i njihova metalurška svojstva.

Veziva moraju biti tako fino samljevana da imaju koloidni karakter. To mogu biti bentonit, vapno, dolomit, kalcijev hidroksid, kalcijev klorid, magnezijev klorid, natrijev karbonat, željezni

sulfat, vodeno staklo i makromolekulna veziva. Najčešće se upotrebljava bentonit, vrsta gline s mnogo montmorilonita (v. *Silicij*, TE 12, str. 88). Njegove su osnovne karakteristike jako bubrenje pri kvašenju, velika moć vezivanja, sposobnost ionske izmjene te sposobnost postupnog oslobađanja vode pri zagrijavanju, čime se sprečava razaranje peleta pri žarenju. Zahvaljujući velikoj specifičnoj površini čestice bentonita stvaraju poslije vlaženja film koji ravnomjerno pokriva čestice sirovine i međusobno ih povezuje. Najviše su u upotrebi visokokvalitetni alkalni bentoniti sa stupnjem bubrenja 20...30% i udjelom frakcije do 0,074 mm 90...95%. Potrošnja im je 5...8 kg/t vlažne sirovine.

Često se kao vezivo upotrebljava gašeno vapno. Ono povećava bazičnost peleta, a time i čvrstoću i otpornost pri brzom zagrijavanju i žarenju, a snižuje potrebnu temperaturu žarenja. Optimalna se čvrstoća peleta postiže dodatkom 5...8% vapna u smjesu za peletiranje.

Nastajanje peleta. Fina se zrnca sirovine međusobno mogu povezati silama na faznim graničnim površinama, kohezijskim i adhezijskim silama zbog prisutnog veziva te privlačnim silama među čvrstim česticama.

Za povezivanje zrnaca najvažnije su sile koje nastaju na graničnim površinama. Radi se o silama na granici između čvrste faze (zrnca) i kapljevine faze (voda) koja se dodaje zrcima sirovine. Pri nekom određenom udjelu vode stvaraju se na mjestima dodira zrnaca tzv. kapljeviniski mostovi koji povezuju zrnca zbog površinske napetosti vode. Pritom se zrnca skupljaju i stvaraju uske pore, kapilare, kojima se stijenke sastoje od međusobno povezanih zrnaca. Što su kapilare užje, to su jače sile koje zrnca drže na okupu. To, s druge strane, ovisi i o finoći zrnaca, čime se objašnjava povećavanje čvrstoće zelenih peleta sa smanjenjem veličine zrnaca.

Vlačna čvrstoća R_m tako nastalih peleta ovisi o poroznosti e , privlačnoj sili F među zrcima i promjeru peleta R :

$$R_m = \frac{1-e}{e} \cdot \frac{F}{R^2} \quad (1)$$

Tlačna čvrstoća, koja iznosi 80% vrijednosti vlačne čvrstoće, određena je izrazom

$$R_t = K \left(\frac{1-e}{e} \right)^a R^{-b}, \quad (2)$$

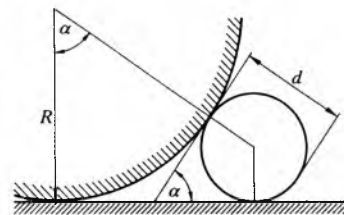
gdje su K , a i b konstante.

Pri nedovoljnoj vlažnosti materijala peletiranje se odvija uz velike poteškoće jer se kapilare djelomično ispune zrakom pa se veže među zrcima smanjuju, a to smanjuje čvrstoću peleta. Međutim, i povećavanje vlažnosti dodavanjem vode mora se strogo kontrolirati jer se čvrstoća peleta povećava samo do određene optimalne količine vlage, a zatim se smanjuje. Ako je količina vode prevelika, kapilarne sile prestaju djelovati.

U nastajanju peleta razlikuju se dvije faze: stvaranje klica i rast peleta. U prvoj fazi prevladavaju unutrašnje, kapilarne sile, a u drugoj vanjske, centrifugalna i gravitacijska, kojih se djelovanje omogućuje rotacijom uređaja za peletiranje.

Na početku, kako je već opisano, kao veza među sitnim zrnima djeluje voda, pa se stvaraju male nakupine. Takve klice budućih peleta i dalje se povećavaju nakupljanjem sitnih zrna. U fazi rasta stvoreni se vlažni peleti zbog rotacije kotrljaju i sudaraju, pri čemu povećavaju svoju gustoću i poprimaju pravilan oblik kuglice. Prilikom kotrljanja peleti stalno dolaze u dodir s pojedinačnim sitnim zrnima sirovine koja se kontinuirano dodaju u mješavinu. O trenju između peleta i zrna te između zrna i podloge ovisi hoće li se zrna pritom ugrađivati (utiskivati) u pelet (sl. 1).

Sl. 1. Ugrađivanje zrna u pelet



Trenje, međutim, ovisi o omjeru veličina peleta i zrna. Za željezne se rude pokazalo da će se zrno promjera d ugraditi u pelet polumjera R ako je ispunjen uvjet

$$\frac{R}{d} \geq \frac{1 + \cos 2\alpha}{2(1 - \cos 2\alpha)}, \quad (3)$$

gdje je α kut trenja.

Koeficijent trenja μ za suhe tvari iznosi $0,3 \dots 0,6$, a za vlažne $0,2$. Kako je

$$\mu = \tan \alpha, \quad (4)$$

može se uvrštenjem odgovarajućih vrijednosti za μ utvrditi da će ugrađivanjem zrna peleti rasti ako je za suhe tvari prosječan omjer $R/d \geq 5,6$, a za vlažne $R/d \geq 12,5$.

PROIZVODNJA PELETA

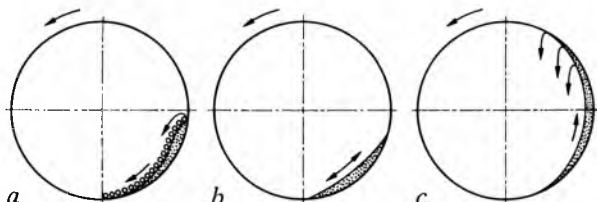
U proizvodnji peleta razlikuju se dvije glavne faze: proizvodnja zelenih peleta i njihova preradba očvršćivanjem do proizvoda s uporabnim svojstvima.

Proizvodnja zelenih peleta

Zeleni se peleti proizvode peletiranjem sirovine u peletizatorima, koji se mogu podijeliti na bubnjaste, tanjuraste i stožaste. Današnji peletizatori uglavnom rade kontinuirano.

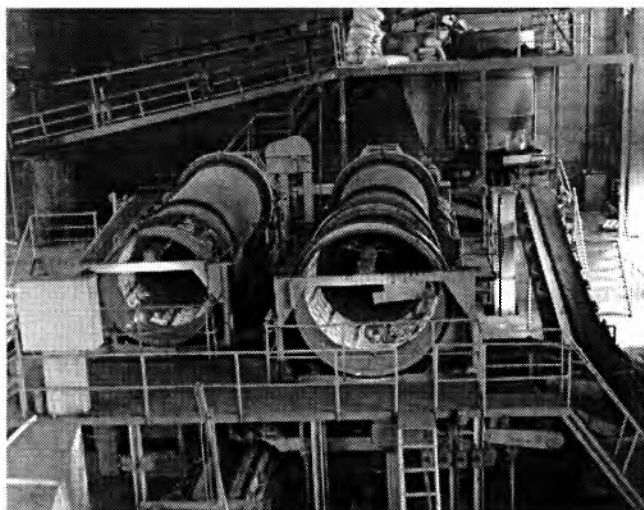
Bubnjasti peletizatori sastoje se od čeličnog plašta, iznutra obloženog hrapavim betonom. Mješavina za peletiranje dozira se na gornjem, uzdignutom kraju bubnja, a gotovi peleti ispadaju na donjem kraju, koji je najčešće perforiran radi razdiobe peleta po granulaciji. Bubanj rotira, već prema fizikalnim i kemijskim svojstvima sirovine i potrebnoj veličini gotovih peleta, brzinom od $8 \dots 16$ okretaja u minuti. Promjer je bubnjeva $1,2 \dots 3,8$ m, a duljina im je $2,3 \dots 3,5$ puta veća od promjera. Bubnjevi se postavljaju pod nagibom od $6 \dots 8^\circ$. U bubnju se ravnomjerno prska voda za vlaženje mješavine.

Razlikuju se tri režima kretanja materijala u bubnju (sl. 2): kotrljanje (vodopadni režim), klizanje i padanje (ciklički režim).



Sl. 2. Režimi kretanja peleta u bubnju za peletiranje. a kotrljanje, b klizanje c padanje

Najpovoljniji je režim kotrljanja, kada su trenje i brzina okretanja bubnja takvi da materijal u bubnju ne klizi i ne uzdiže se previše visoko uz plašt. Ostala su dva režima manje povoljna jer se ne ostvaruje dobar i dovoljan kontakt peleta sa sirovinom.



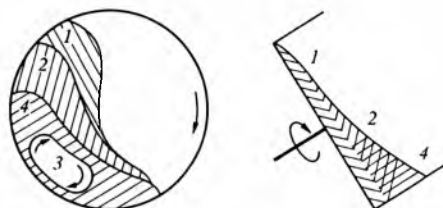
Sl. 3. Bubnjasti peletizatori u Željezari u Skoplju

U tablici 1 nalaze se primjeri dimenzija bubnja i pripadne proizvodnje peleta, a slika 3 pokazuje vanjski izgled industrijskih bubnjastih peletizatora.

Tablica 1
PRIMJERI DIMENZIJA BUBNJEVA ZA PELETIRANJE I PRIPADNA PROIZVODNJA PELETA

Promjer bubnja m	Duljina bubnja m	Proizvodnja peleta t/h
1,80	6,10	20
2,75	9,15	80
3,05	9,75	120
3,66	9,75	170

Tanjurasti peletizatori promjera su do 8 m, a postavljaju se pod nagibom od $45 \dots 48^\circ$. Na tanjuru se mogu razlikovati četiri zone (sl. 4). Rotiranjem tanjura iz klica nastaju peleti. Porastom mase peleta raste i centrifugalna sila koja postaje veća od sile trenja. Kada peleti dostignu određenu veličinu ($10 \dots 20$ mm), padaju preko povišenog ruba tanjura (sl. 5).

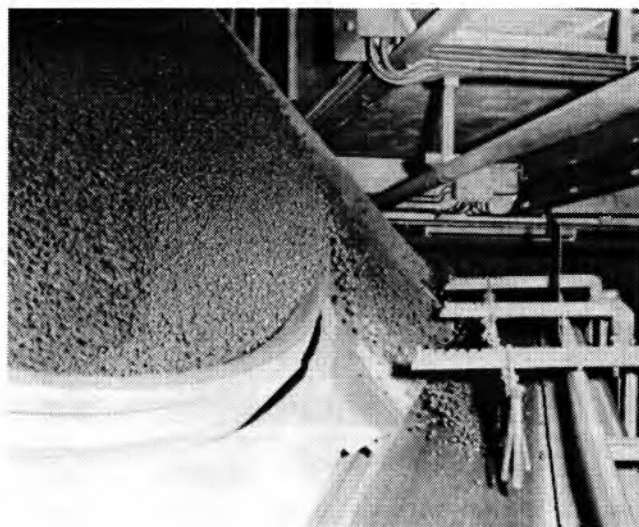


Sl. 4. Zone na tanjuru za peletiranje. 1 tvorba klica, 2 rast peleta, 3 kruženje peleta, 4 gotovi peleti

Kritična je brzina vrtnje tanjura ona pri kojoj se materijal u tanjuru diže do njegova ruba, a određena je jednadžbom

$$v_{kr} = \frac{42,30}{\sqrt{D}} \sqrt{\frac{\sin(\beta - \alpha)}{\cos \alpha}}, \quad (5)$$

gdje je D promjer tanjura (u metrima), α kut koji površina sirovine zatvara s plohom tanjura, a β kut nagiba tanjura. Za sirovine koje se lako peletiziraju brzina vrtnje tanjura ne treba biti velika, pa iznosi $6 \dots 7$ okretaja u minuti, a proizvodnost je obično 150 t peleta po satu.



Sl. 5. Ispadanje gotovih peleta s tanjurastog peletizatora

U novije su doba razvijeni i *stožasti peletizatori*, ali im je upotreba još ograničena.

Svojstva zelenih peleta. Peleti se dobivaju od različitih sirovina pa su im i svojstva različita. Osnovne su karakteristike zelenih peleta njihova veličina, mehanička čvrstoća i poroznost.

Velicina zelenih peleta zavisi u prvom redu od njihove namjene (tabl. 2), ali i od sposobnosti sirovine da se peletira, od njezine homogenosti te od količine vlage. Ako je vlažnost mješavine malena, dobivaju se krhki i lomljivi peleti koji se na stijenkama peletizatora lako raspadaju, dok se pri velikoj vlažnosti mješavine stvaraju krupni peleti slabe čvrstoće i nepravilna oblika. Velicina je peleta u metalurgiji različita. Do pedesetih godina ovog stoljeća proizvodili su se peleti promjera do 25 mm, a danas se proizvode peleti promjera 10...20 mm.

Tablica 2
VELIČINA ZELENIH PELETA

Vrsta peleta	Promjer peleta mm
Peleti u metalurgiji željeza	10...20
Peleti u proizvodnji cementa	5...20
Umjetna gnojiva	3...15
Stočna hrana	5...20
Kemikalije, polimerni materijali	2...4

Čvrstoća je jedno od najvažnijih svojstava zelenih peleta. Ona se ogleda u njihovu opiranje mehaničkim silama koje nastaju pri oblikovanju, sušenju i prženju. Čvrstoća zavisi od promjera zrna sirovine, površinske napetosti vode, udjela vlage, količine i vrste veziva te od promjera peleta.

Čvrstoća raste s porastom površinske napetosti kapljavine i promjera peleta te sa smanjenjem poroznosti i promjera zrna sirovine. Čvrstoća se može odrediti na više načina. Osnovnom se čvrstoćom naziva tlačna čvrstoća koja određuje stezanje peleta među dvjema paralelnim površinama i izražava se silom potrebnom za raspadanje peleta. Minimalna tlačna čvrstoća ne bi smjela biti manja od 7 N po peletu. Čvrstoća na pad određuje se brojem raspadnutih peleta nakon pada s određene visine ili mjerenjem minimalne visine s koje se svi testirani peleti raspadaju. Čvrstoća na habanje izražava se količinom sitnih frakcija nastalih nakon određenog broja okretaja ispitnog bubnja s peletima.

Poroznost je udio šupljina u peletu. Ona uglavnom zavisi od granulometrijskog sastava sirovine i od mehaničkih sila koje djeluju za vrijeme oblikovanja peleta. Peletiranje se događa u trofaznom sustavu koncentrat-voda-zrak s obujamnim udjelima od 40...45% koncentrata, 10...25% vode i 35...45% zraka. Za vrijeme peletiranja smanjuje se udio zraka, a povećava se udio čvrstih čestica i vlage. Općenito se smatra da za dalju preradbu zelenih peleta poroznost ne bi smjela biti manja od 20%.

Očvršćivanje peleta

Zeleni su peleti male čvrstoće, tako da je njihova izravna primjena vrlo ograničena. Zato se oni moraju očvršćivati, a izbor postupka ovisi o potrebnoj čvrstoći peleta i o ponašanju materijala na povišenoj temperaturi. Tri su načina očvršćivanja peleta: sušenje, prženje i hladno očvršćivanje.

Sušenje peleta rijetko se primjenjuje kao zaseban način njihova očvršćivanja. Peleti se suše samo ako se time postigne dovoljna čvrstoća, tj. ako ih ne treba dalje očvršćivati. Primjer je takva očvršćivanja sušenje zelenih peleta koji sadrže otopljene soli koje sušenjem kristaliziraju i povećavaju čvrstoću peleta. Sušenje se mnogo češće primjenjuje kao pripremni postupak očvršćivanju koje se provodi prženjem.

Prženje (žarenje) peleta. Maksimalna je temperatura prženja 1200...1300 °C. Ona ne smije biti viša od temperature omekšavanja peleta. Prilikom prženja mijenjaju se mehanička i metalurška svojstva peleta. Za razliku od sinteriranja, kada se čestice povezuju površinskim staljivanjem, peleti prilikom prženja očvršćuju zbog kristalizacijskih procesa i strukturnih promjena u svojoj unutrašnjosti. Kada se postigne dovoljno visoka temperatura, zrnca unutar peleta srastaju zbog djelomičnog stvaranja kristalne strukture i jednolike kristalografske orijentacije. Osim toga, od dodanih se nemetalnih veziva (glina, vapno, silikati) na visokoj temperaturi stvara troska koja nakon hlađenja povezuje zrnca u peletu.

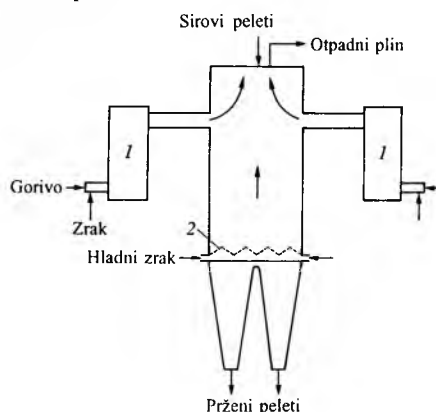
Brzina hlađenja također je važan čimbenik u očvršćivanju peleta. Prikadnom brzinom hlađenja (200...400 °C/min) treba omo-

gučiti normalan tok kristalizacije kako bi se dobila potrebna kristalična struktura.

U koncentratima željeznih ruda obično ima sumpora u obliku sulfida (FeS₂, FeS) i sulfata (CaSO₄, MgSO₄, BaSO₄). Ti se sumporni spojevi uklanjaju tijekom prženja. Za uklanjanje sulfidnog sumpora prevođenjem u sumporni dioksid potreban je suvišak kisika u plinovitoj fazi i niža temperatura, a sulfatni se sumpor uklanja duljim žarenjem na visokoj temperaturi kako bi se sulfat raspao na oksid, kisik i sumporni dioksid.

Temperatura i brzina prženja peleta zavise od prirode sirovine te od vlažnosti i veličine peleta. Danas se za prženje peleta najčešće upotrebljavaju jamne peći, trake za prženje i agregati od trake i peći.

Jamne peći prvi su put za prženje peleta upotrijebljene u Švedskoj oko 1952, a u SAD 1955. godine. Peć je jednostavne konstrukcije (sl. 6), radni je prostor racionalno iskorišten, stupanj je razmjene topline među čvrstim uloškom i plinom visok, a utrošak je goriva razmjerno malen. Toplina potrebna za prženje dobiva se od plinova izgaranja i od zagrijanog zraka koji ulazi na dnu peći, hladi pelete i dolazi zagrijan u trup peći. Takvom je konstrukcijom omogućena i dobra regulacija temperaturnog režima i ravnomjerna kvaliteta peleta.



Sl. 6. Jamna peć za prženje peleta. 1 komora za izgaranje, 2 rešetka

Nedostatak je jednostavne jamne peći što peleti, kojima temperatura ne bi trebala biti veća od 150 °C, izlaze iz nje nedovoljno ohlađeni. Taj je nedostatak u složenijim pećima uklonjen hlađenjem peleta strujom zraka u protustrujnom hladilu, gdje se zrak ujedno predgrijava prije ulaska u komoru za izgaranje.

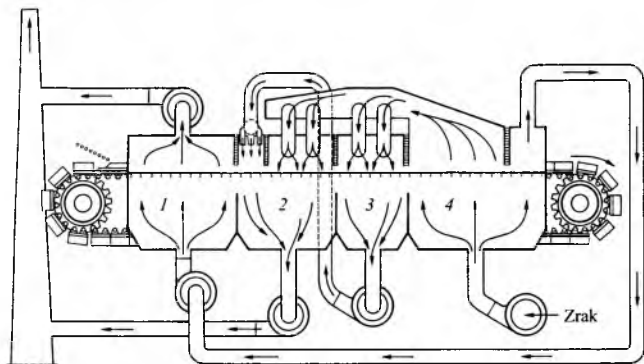
Današnji industrijski agregati za prženje peleta troše približno 500 000 kJ po toni peleta. Godišnji je kapacitet najvećih jamnih peći ~500 000 t peleta. Površina je presjeka trupa takvih peći ~16 m², visina 11...12 m, a prženje peleta traje 4...6 sati. Nedostaci su jamnih peći što se sušenje, prženje i hlađenje peleta zbivaju u istom trupu, pa se ne može regulirati tehnološki režim u pojedinoj zoni, kontrola je temperature složena, a vrlo se brzo postiže temperatura prženja, temperatura u trupu nije ravnomjerna, a dnevna je proizvodnja ograničena na 1000...1400 t.

Trake za prženje peleta. Početkom pedesetih godina našeg stoljeća metalne su trake za sinteriranje (v. Sinteriranje, TE 12, str. 102) prilagođene i prženju zelenih peleta (tabl. 3). Temperatura potrebna za prženje postiže se izgaranjem plinovitih ili kapljevih goriva u gorionicima, a rjeđe izgaranjem čvrstoga goriva na površini sloja peleta.

Tablica 3
DNEVNA PROIZVODNJA I UTROŠAK TOPLINE U POSTROJENJU ZA PELETIRANJE LURGI-DRAVO

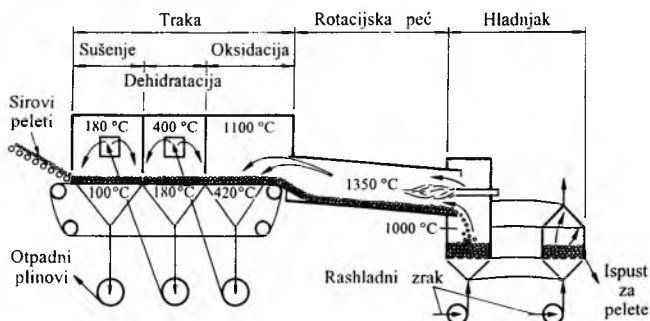
Sirovina	Dnevna proizvodnja peleta t/m ²	Utrošak topline kJ/t
Magnetit	26...30	460 000...500 000
Hematit	22...24	1 000 000
Smjesa magnetita i hematita	24...26	700 000...800 000
Smjesa limonita i hematita	16...18	1 200 000...1 500 000

Na traci za prženje razlikuju se zona sušenja, zagrijavanja, prženja i hlađenja. Gorionici se nalaze u prve tri zone. Rekupe-racija topline ostvaruje se tako što se za zagrijavanje i prženje upotrebljava zrak koji služi za hlađenje peleta i koji se tom prilikom predgrijava do 400 °C (sl. 7).



Sl. 7. Rekupe-racija topline u postrojenju za prženje peleta (Lurgi-Dravo). 1 zona sušenja, 2 zagrijavanja, 3 prženja i 4 hlađenja

Agregat za prženje peleta primijenjen je prvi put 1960. u Americi (postupak Grate-Kiln). Postrojenje je kombinacija trake, rotacijske peći i hladnjaka (sl. 8), što omogućuje bolju regulaciju procesa u svakoj od radnih faza.



Sl. 8. Agregat za prženje peleta (postupak Grate-Kiln)

Peleti se suše i predgrijavaju na traci koja se zagrijava otpadnim plinovima iz rotacijske peći, dok se temperatura plinova na ulazu u komore regulira uvođenjem hladnog zraka. Na traci se uklanja vlaga, peleti se djelomično oksidiraju i zagrijavaju (na temperaturi 950...1100 °C), a donekle i očvršćuju. Potom peleti ulaze u rotacijsku peć loženu plinovitim ili kapljevitim gorivom, a zrak za izgaranje predgrijava se prilikom hlađenja peleta u hladnjaku. Kako je u rotacijskoj peći moguća regulacija temperature po čitavoj duljini, mogu se pržiti peleti osjetljivi na nagle promjene temperature, npr. smjesa hematita i limonita.

Proizvodnja metaliziranih peleta. Metaliziranje peleta jest postupak kojim se rudni koncentrat djelomično reducira do metala već u peletima, dakle još prije nego se oni upotrijebe u glavnom proizvodnom postupku za dobivanje metala. Metaliziranje peleta od kompleksnih, teško reduktivnih i siromašnih željeznih ruda služi za pripremu uloška za visoku i električnu peć, čime se smanjuje potrošnja koksa, a povećava se proizvodnost peći. Osim toga, peleti s velikim stupnjem metaliziranja (>90%) upotrebljavaju se u izravnom procesu proizvodnje čelika iz ruda, bez upotrebe visoke peći. Za taj proces sirovine (rude, koncentrat) trebaju imati velik i konstantan udio željeza (>65%), malen udio nepoželjnih primjesa (<5% silicijeva dioksida u jalovini) i ravnomjernu granulaciju.

Za proizvodnju metaliziranih peleta mogu se upotrijebiti oksidno prženi ili zeleni peleti. Reducira se u jamnim ili rotacijskim pećima pri temperaturi od 1000...1200 °C, a za redukciju se upotrebljavaju jeftini i lako dostupni reducensi, npr. različite vrste ugljena ili plinovi. Čvrsti reducens može biti već prije dodan u zelene pelete.

Hladno očvršćivanje. Zeleni peleti nekih sirovina mogu se očvrstiti i bez dovođenja topline. Takav način ima i prednosti jer nisu potrebna skupa postrojenja za prženje, a čestice sirovine

zadržavaju u peletima svoj prvobitni oblik, veličinu i mineraloški sastav. Za hladno očvršćivanje mogu se upotrijebiti različita veziva kao katran, melasa, škrob, dekstrin, magnezijev oksid, natrijev silikat, natrijev hidroksid, željezni klorid, bentonit, no obično se u te svrhe upotrebljava cement ili vapno.

Najpoznatije je hladno očvršćivanje cementom. U mješavinu za peletiranje dodaje se 10...15% portland-cementa. Nakon peletiranja zeleni se peleti posipaju slojem sirovine i otpremaju u silose na očvršćivanje. Ono se zbiva u tri faze: prva, koja traje 30 sati, indukcijska je faza u kojoj se temperatura peleta povisi na 40 °C. U drugoj se fazi peleti s minimalnom čvrstoćom sijanjem oslobađaju koncentrata i dalje se očvršćuju. Ona traje do 6 dana, a peleti postižu do 70% vrijednosti konačne čvrstoće. U trećoj fazi poprimaju peleti na odlagalištu nakon 28 dana svoju konačnu čvrstoću.

Zbog velikog dodatka cementa tim se postupkom znatno smanjuje udio osnovne sirovine, pa je zato prikladan samo za bogate rude.

Za hladno očvršćivanje vapnom zeleni se peleti sastoje od 75...80% sirovine, 10...15% gašenog vapna i 7...10% vode. Peleti se suše do vlažnosti od 4...6%, a nakon toga ostavljaju se još 1...2 sata na temperaturi od 55...65 °C u struji plina koji sadrži 20...30% ugljičnog dioksida. Očvršćivanje peleta rezultat je reakcije vapna s ugljičnim dioksidom i tvorbe sitnokristalične strukture kalcijeva karbonata.

SVOJSTVA PRŽENIH PELETA

Na temelju poznatih svojstava peleta može se optimirati sastav uloška (npr. za visoku peć), što omogućuje stabilan tehnološki proces uz povoljno iskorištenje. Za preradu peleta u metalurgiji željeza od velike su važnosti njihov granulometrijski sastav i metalurška svojstva, u prvom redu reduktivnost i čvrstoća pri redukciji.

Granulometrijski sastav peletiranog materijala važan je za ocjenu propusnosti materijala za plinove. Općenito se smatra da udio frakcije od 10...16 mm treba biti veći od 80%, a frakcije do 5 mm manji od 5%.

Čvrstoća peleta treba iznositi ~2000 N po peletu, pri čemu se dopušta da najviše 10% peleta ima manju čvrstoću od navedene.

Otpornost peleta na habanje smatra se zadovoljavajućom ako nakon propisanog rotiranja peleta u bubnju udio peleta s promjerom manjim od 0,63 mm nije veći od 8%.

Poroznost peleta zavisi od udjela te fizikalnih i kemijskih svojstava taline koja nastaje pri visokotemperaturnom prženju peleta. Najčešće su u međusobnoj zavisnosti udio taline (1,5...19,0%), bazičnost, tj. maseni omjer CaO/SiO₂ (0,5...1,5), i ukupna poroznost peleta (18,6...50,4%).

Reduktivnost peleta pokazuje njihovu prikladnost za reakciju u visokoj peći, gdje se rudni koncentrat u obliku metalnog oksida reducira u metal. Ona zavisi od vrste rudnog koncentrata, veličine i poroznosti peleta, a izravno utječe na potrošnju koksa.

Reduktivnost se ispituje u uvjetima sličnim onima u visokoj peći. Zato se reduktivnost ocjenjuje uz dugotrajno zadržavanje peleta u rotacijskoj peći koja se okreće brzinom od 30 okretaja u minuti, masa je uzorka 200 g peleta (frakcija od 13...15 mm) i 80 g metalurškog koksa (15...20 mm). Kroz peć struji redukcijski plin s 40% ugljičnog monoksida i 60% dušika, a temperatura je peći nešto niža od one koja je potrebna za redukciju, pa se na toj temperaturi peleti još ne bi smjeli reducirati i pritom raspadati. Nakon ispitivanja peleti se prosijavaju i pritom udio frakcije do 3 mm ne smije biti veći od 15%, a frakcije do 1 mm ne veći od 10%.

Omekšavanje peleta utječe na njihov oblik, na zonu nastanka troske u pećima te na kretanje plinova u fazi taljenja peleta. Temperaturni raspon omekšavanja peleta zavisi od mineraloškog i kemijskog sastava sirovine, veličine zrna i od stupnja redukcije. Temperatura na kojoj počinje omekšavanje jest ona na kojoj se obujam peleta smanjuje za 0,5%, a temperatura je završetka omekšavanja ona na kojoj se obujam smanjuje za 40%. Za preradu u visokoj peći najbolji su peleti koji počinju omekšavati na temperaturi višoj od 1000 °C i koji imaju uzak temperaturni raspon omekšavanja.

Bubrenje peleta, povećanje obujma peleta za vrijeme redukcije, također je mjerodavno za njihovu vrijednost. Za kvalitetne pelete bubrenje za vrijeme redukcije ne bi trebalo biti veće od 20%.

UPOTREBA PELETA

Metalurgija željeza. Peleti su u visokoj peći prvi put upotrijebljeni 1948. u SAD, a metalurgija željeza i danas je najvažnije područje primjene peletiranja, i to u prvom redu za rude i rudne koncentrate koji se ne mogu aglomerirati sinteriranjem zbog velikog udjela vrlo sitnih, finih zrna. Sirovine za peletiranje najčešće su rude i rudni koncentri magnetita, hematita, smjese magnetita i hematita te hematita i limonita.

Bitna je prednost upotrebe peleta u metalurgiji željeza što se povećava reduktivnost ruda i koncentrata, tj. njihova sposobnost da se reduciraju u metal. Razlog je tome što peleti povećavaju poroznost i propusnost za plinove u ulošku visoke peći i što se peletiranjem smanjuje udio sulfida i sulfata, a povećava udio oksida, koji se mogu izravno reducirati u metal. Time metalurški proces postaje intenzivniji, a proizvodnost visoke peći veća. Osim toga, pri taljenju peleta nastaje manje troske nego pri taljenju sintera.

Ostala područja upotrebe. U proizvodnji *cementa* peletira se finosamljevna cementna prašina. Tako se dobiju vrlo porozne čestice dovoljne čvrstoće da se mogu pržiti u jamnoj ili rotacijskoj peći.

U proizvodnji *umjetnih gnojiva* vrijednost se proizvoda povećava peletiranjem uz nepromijenjenu topljivost. Dobiva se proizvod bez prašine, pa prilikom primjene nema opasnosti po zdravlje zbog udisanja, materijal se ne gubi prašenjem, lako se njime rukuje, a komponente se ne mogu razdvojiti.

U pripremi *stočne hrane* od praškastih tvari peletiranje se primjenjuje za primješavanje dodataka kao što su vitamini, hranjivi mikroelementi i sl.

Pigmenti, punila, insekticidi i lijekovi u praškastom obliku teško se pakiraju, transportiraju, skladište i doziraju. Peletiranjem se smanjuju troškovi pohranjivanja, sprečava se prašenje, proizvodi se lakše doziraju i raspodjeljuju, a pritom se ne gube svojstva finodisperznih tvari.

Peletiranje se sve više primjenjuje i u *prehrambenoj industriji*. Tako npr. kamena i morska sol nakon usitnjavanja sadrže i do 20% praha koji pogoršava neka svojstva te smanjuje kvalitetu proizvoda. Prah se stoga skuplja i peletira te se u tom obliku primjenjuje u druge svrhe.

LIT.: K. Meyer, *Pelletizing of Iron Ores*. Springer-Verlag, Verlag Stahleisen, Düsseldorf 1980. – A. Gmelin, R. Durrer, *Metallurgy of Iron*. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York-London 1992.

A. Markotić S. Miloševski

ULICE I TRGOVI, osnovni elementi funkcionalne i oblikovne kompozicije grada.

Ulica je prometni put unutar naseljenog mjesta. Za razliku od ceste, naziv ulica upotrebljava se ponajprije za prometnice u naseljenim, uređenim i urbaniziranim prostorima. Međutim, u prostoru grada neke ulice nose nazive cesta, pa čak i put, što je najčešće tradicionalni naziv koji potječe iz doba kada su se te ulice nalazile izvan gradskog područja. U upotrebi su i drugi nazivi: avenija (franc. *avenue* prilaz, drvored), bulevar (franc. *boulevard* šetalište) za reprezentativne gradske ulice, te sokač u istočnoj Slavoniji.

Prema vrsti prometa i njegovu intenzitetu ulice se dijele na magistralne, primarne i sekundarne, sabirne, stambene, pješačke, na promenade, šetališta itd.; prema tehničkim karakteristikama razlikuju se gradske autoceste, brze gradske ulice za izuzetan promet, teretne ulice, te ulice za lagani i pješački promet; prema položaju u gradu ulice su suburbane, tranzitne, tangencijalne, obilazne, radijalne, kružne, izlazne itd.; prema opremi, komunalnoj infrastrukturi i suprastrukturi ulice se dijele na trgovačke, poslovnne, industrijske i sl.

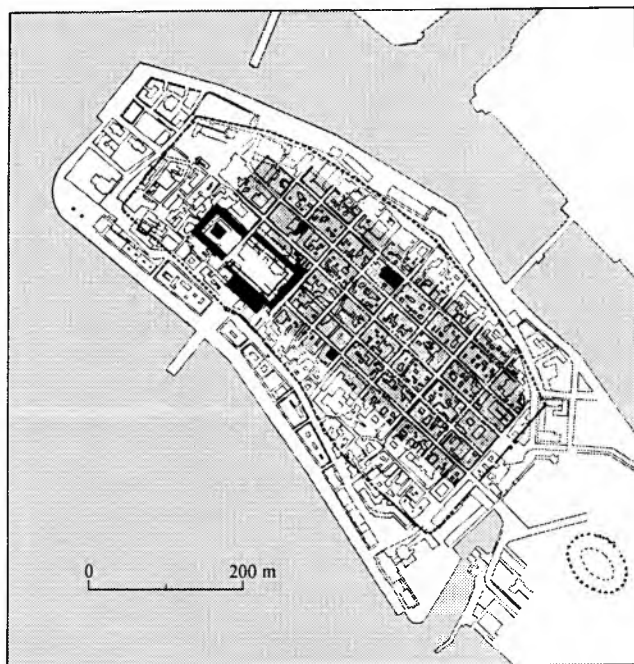
Gradska ulica, osim određenog broja kolničkih trakova, ima u pravilu sa svake strane lateralni dio za pješake podignut od nivelete kolnika (pješački pločnik, trotoar). Osim pločnika i specifične urbane opreme (signalizacija, rasvjeta, nasadi i dr.) gradsku ulicu karakteriziraju vrlo složene podzemne instalacije i komunalne konstrukcije koji nisu provedene na cestama izvan naseljenih mjesta.

Tehnologija projektiranja, konstruiranja, inženjerskog oblikovanja i izgradnje gradskih ulica, te osobito njihov građevinski dio, ne razlikuju se, osim u opremi i tehničkim pojedinostima, od tehnologije izvangradskih cesta (v. *Cesta*, TE 2, str. 600).

Povijesni razvoj ulice usporedan je s razvojem ljudskih naselja i može se pratiti od najstarijeg doba do danas. Primjer ranoga neolitskog naselja u Lepenskom viru na Đerdapu osobito je znakovit. U arheološkim ostacima tog naselja, kojemu najstariji slojevi sežu u šesto tisućljeće prije naše ere, vidljivi su rudimenti unutrašnjih komunikacija koje gotovo u pravilnom unakrsnom redu vode kroz stambeno područje prema rijeci i središnjem prostoru čitave aglomeracije, trgu. Mnogobrojni su primjeri slična pravilnog rasporeda ulica u prapovijesnim naseljima (teramara, keltsko-iberska naselja, etrurska naselja i dr.). Još su češća naselja s nepravilnom uličnom mrežom uvjetovanom postupnim rastom naselja, konfiguracijom terena i skromnim tehničkim mogućnostima njihovih graditelja.

Velike kulture starog Istoka i Egipta ostavile su tragove mnogobrojnih visoko razvijenih urbanih aglomeracija čitavih metropola u kojima se ulica pojavljuje kao temeljni element njihove prostorne organizacije i kompozicije. Nasuprot rudimentarnim i spontano nastalim uličicama, stazama u prapovijesnim naseljima, u Mezopotamiji, Egiptu, Palestini, a kasnije u Grčkoj i Rimu, gradske prometnice čine čitave ulične sustave koji su unaprijed planirani i raskošno oblikovani. Monumentalnost egipatskih »svetih ulica« i rimskih gradskih ulica – *dekumana* (lat. *decumanus*) i *karda* (lat. *cardo*) ostala je rijetko dosegnuta tijekom povijesti urbanizma. Slični monumentalni ulični prospekti visoke umjetničke i simboličke izražajnosti svojstveni su također drevnim kulturama Dalekog istoka, osobito u njihovim »svetim gradovima« i gradovima carskih rezidencija.

Sustav geometrijski pravilne gradske ulične mreže razvili su u antici rimski urbanisti i graditelji do razine znanstvene doktrine i zamjerne tehničke perfekcije (sl. 1). Dvije kardinalne osi što se sijeku pod pravim kutom, (lat. *cardo maximus* i *decumanus maximus*) glavne su gradske magistrale koje kao koordinantne osi određuju cjelokupnu unutrašnju razdiobu i organizaciju gradskog prostora, te lokaciju svakog objekta u njemu. Te se osi, nadalje, pravolinijski pružaju daleko u regiju i kao glavne izvangradske



Sl. 1. Plan antičkog Zadra (prema M. Suiću)