

Silikonska ulja dospijevaju u velikim količinama u čovjekov okoliš. Prema današnjem saznanju čini se da se silikonska ulja ne mogu biološki razgraditi. To je vjerojatno posljedica polimernog karaktera silikona, koji zbog veličine svojih makromolekula ne mogu proći kroz biološki membranski sustav, a osim toga se veza Si—C teško cijepa. Studije o fiziološkom djelovanju pokazuju da polisiloksani nisu toksični ni kancerogeni. Tako polidimetilsiloksani dodani oralno u velikoj količini imaju samo laksativni efekt. Međutim, poznato je da se djelovanjem ultraljubičastog zračenja uz prisutnost nitrata polidimetilsiloksani razgrađuju sve do SiO₂. Produkti razgradnje polidimetilsiloksana djelovanjem svjetlosti i kisika iz zraka mogu se dalje razgraditi, pa nema opasnosti od njihove biološke akumulacije i zagađivanja čovjekove životne sredine.

Silikonski kaučuk je bijel materijal sklon tečenju i slabo elastičan na udarac. Vulkanizacijom uz djelovanje topline i organskih peroksida ili u hladnom uz pomoć katalizatora nastaje važan tehnički materijal, silikonska guma.

Silikonski se kaučuk sastoji uglavnom od visokomolekularnih lanaca polimetilsiloksana (relativna molekularna masa 5 · 10⁵–10⁶), ali se za poboljšanje svojstava obično 10–40% metilnih skupina supstituira drugim skupinama (fenilnom, vinilnom, trifluorpropilnom, cijanoetilnom i sl.). Više o svojstvima, proizvodnji i primjeni silikonskog kaučuka i gume v. *Kaučuk i guma*, TE 6, str. 751.

Silikonske smole su čvrste tvari slične silikatima, prilično krhke, s velikim udjelom silicija i kisika, a s manjim organskim udjelom. Posljedica je to sastava sirovinke smjese, u kojoj pretežu trifunkcionalni organoklorsilani (npr. CH₃SiCl₃), koji se lako umrežuju. Silikonske su smole duromerni materijal, dakle nepovratno otvrdnjuju nakon zagrijavanja na 250 °C. Odlikuju se otpornošću prema povišenim temperaturama (180–200 °C) kroz dulji vremenski period.

Silikonske se smole upotrebljavaju za izolaciju u elektroindustriji, kao vezivo između stakla i organskih polimernih materijala, za impregnaciju papira, u obliku emulzije za impregnaciju betona i ciglenih zidova, kao veziva masâ za prešanje te u pripravi antikorozijskih premaza. Međutim, najvažnija je upotreba silikonskih smola u pripravi silikonskih lakova, u kojima su one kombinirane s alkidnim i poliesterskim smolama te anorganskim pigmentima. Silikonski su lakovi posebno važni kao izolacijski lakovi u elektromotorima i transformatorima, jer su termički otporni do skoro 250 °C. Dodatkom aluminija kao pigmenta dobivaju se temperaturno vrlo postojani lakovi (do 500 °C) koji se upotrebljavaju kao premazi za peći, ispušne cijevi, glačala i sl.

PROIZVODNJA I POTROŠNJA SILICIJA I NJEGOVIH SPOJEVA

Od ukupno proizvedenih količina tehničkog, elementarnog silicija najviše se potroši u kemijskoj industriji (82–84%),

Tablica 5
NAJVEĆI SVJETSKI PROIZVOĐAČI KREMENA,
KREMOG PIJESKA I DIJATOMEJSKE
ZEMLJE

Zemlja ¹	Proizvodnja (tisuće tona)		
	1974.	1982.	1983.
SAD	452857	222400	
SR Njemačka	172881		139938
Austrija	16789		15614
Argentina	13015		12920
Belgija ²	18150		11086
Peru			2800
Indija	1577		2575
Urugvaj ²	1599		2043
Danska ³	1607		1299
Meksiko	514		929
Indonezija ⁴			900

¹ bez zemalja članica SEV

² bez dijatomejske zemlje

³ u tisućama m³

⁴ samo kremen

mного manje u metalurgiji (10–15%), dok se za poluvodiče i solarnu tehniku, dakle u područjima u kojima je silicij neobično važan materijal, troši samo 1–3%. Najveći su proizvođači tehničkog silicija Norveška, Francuska, Španjolska, SAD, Kanada, Južnoafrička Republika, SSSR, Jugoslavija i Portugal.

Tablica 6
NAJVEĆI SVJETSKI PROIZVOĐAČI SILIMANITA,
ANDALUZITA I DISTENA

Zemlja ¹	Proizvodnja (tisuće tona)	
	1974.	1983.
Južnoafrička Republika (bez distena)	77,1	117,4
Indija (bez andaluzita)	45,2	50,5
Francuska	9,9	30
SAD (samo sinter-mulit)	37,7	20,9
Španjolska (samo andaluzit)	7,3	6
Australija (samo silimanit)	0,8	0,8
Brazil (samo disten)		0,4

¹ bez zemalja članica SEV

Tablica 7
PROIZVODNJA SILICIJA, PRIRODNIH OBLIKA
SILICIJ-DIOKSIDA, SILIKATA I SILIKONA U JUGOSLAVIJI
(u tonama)

Proizvod	Godina		
	1983.	1984.	1985.
Silicij, elementarni	26256	28428	
Kremeni pijesak, sirovi		616292	742000
Kremeni pijesak, separirani i prani	2391402	1523084	1600000
Kremen i kremeni minerali		60634	103946
Sirovi glinenac, natrijski		22645	37000
Sirovi glinenac, kalijski	41372	12179	12000
Tinjac	946	171	644
Talk		28487	
Bentonit		132887	148752
Kaolin	208254		
Silikoni	1024	1069	

Mnoštvo silicijevih proizvoda u obliku minerala, praradenih prirodnih sirovina i sintetskih spojeva iskazuje se u statističkim pregledima pod različitim nazivima, koji često obuhvaćaju i više proizvoda, pa su podaci o proizvedenim količinama uglavnom neujednačeni i nepotpuni. U tabl. 5 i 6 navedeni su glavni svjetski proizvođači važnijih oblika silicij-dioksida i nekih silikata, a tabl. 7 prikazuje podatke za proizvodnju silicija, silicij-dioksida, silikata i silikona u Jugoslaviji.

LIT.: C. Klein, C. S. Hurlbut, Jr., *Manual of Mineralogy*. J. Wiley and Sons, New York, Brisbane, Toronto, Singapore 1977. – G. W. Brindley, G. Brown, *Crystal Structures of Clay Minerals and Their X-Ray Identification*. Miner. Soc., London 1980. – *Winnacker-Küchler, Chemische Technologie*, Band 3. Anorganische Technologie II. C. Hanser Verlag, München, Wien 1983. – I. Filipović, S. Lipanović, *Opća i anorganska kemija*. Školska knjiga, Zagreb 1985. – W. Hinz, *Silicat Lexikon*. Akademie Verlag, Berlin 1985. – F. Liebau, *Structural Chemistry of Silicates*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, Tokio 1985.

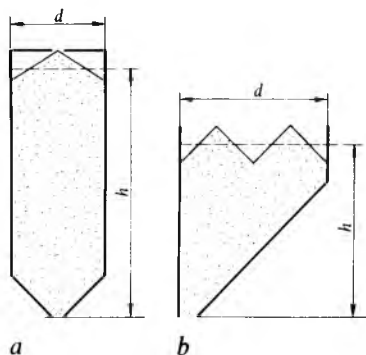
E. Tkalčec

SILOSI, građevine u koje se spremaju zrnaste i prašnaste sipke tvari organskog i anorganskog podrijetla. Riječ potječe iz španjolskog jezika i označuje podzemne spremnike u obliku okna u koje su se spremali sitni poljoprivredni proizvodi.

Prvi primjeri građevina što podsjećaju na današnje silose kružni su spremnici promjera nekoliko metara, zidani od opeke, a izgrađeni su u starom Egiptu između 2700. i 2500. godine.

Pod pojmom silosi danas se razumijevaju spremnici koji imaju veliku visinu prema širini, za razliku od bunkera, kojima je visina prema širini mala (sl. 1).

Zidovi spremnika zatvaraju najčešće uspravne prizmatične prostore različitih poprečnih presjeka. Taj je prostor omeđen s gornje strane pločom s otvorom za punjenje, a s donje strane ponajčešće lijevkom, da bi se olakšalo pražnjenje. Sastavljanjem više spremnika u građevnu cjelinu nastaje postrojenje koje se naziva silosom, a pojedinačni spremnici ćelijama silosa.



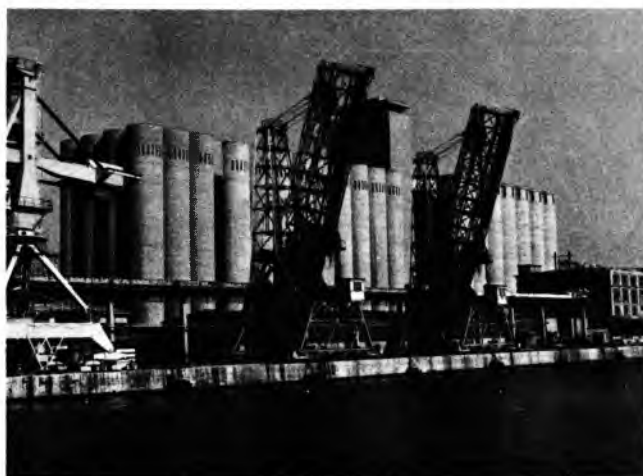
Sl. 1. Razlika između silosa i bunkera. *a* silos, $h/d > 1,5$; *b* bunker, $h/d < 1,5$



Sl. 2. Silos za žito u Podravska Slatini, kapacitet 17000 t

U silose se spremaju tvari u sipkom stanju i istodobno se štite od atmosferskih utjecaja. Dovoze se i odvoze ponajviše vozilima ili plovilima posebne namjene te se unose u silose i iznose se iz njih posebnim uređajima. Silosi se grade u prvom redu u područjima gdje se tvari proizvode, prikupljaju i privremeno pohranjuju (prikupni silosi, sl. 2), potom na željezničkim postajama i lukama gdje se mijenjaju prijevozna sredstva (pretovarni silosi, sl. 3), te na mjestima gdje se tvari prerađuju (industrijski silosi, sl. 4 i 5).

Isprva su se silosi gradili od drva, koje je danas gotovo potisnuto iz uporabe. Za izradbu malih spremnika vrlo su prikladna sintetska gradiva, poglavito poliesterne smole ojačane vlaknima (sl. 6). Čelik je prikladan i za male i za velike spremnike (sl. 7). Beton se (armiran ili prednapet) ipak najčešće upotrebljava za gradnju srednjih i velikih silosa



Sl. 3. Silos za žito u Rijeci, kapacitet 58000 t



Sl. 4. Silos za žito u Zagrebu, kapacitet 56000 t



Sl. 5. Silos za žito kapaciteta 7000 t i rezervoar za vodu obujma 750 m³ u Čakovcu

(prilagodljivost svakom željenom obliku, otpornost na koroziju, neosjetljivost na udarce, mala toplinska provodnost s obzirom na čelik te nesmanjena čvrstoća i pri visokim temperaturama).



Sl. 6. Spremnik za stočnu hranu obujma 18 m³



Sl. 7. Silos za žito u Kutjevju, kapacitet 8000 t

Vrste tvari u silosima. Prijevoz poljoprivrednih i industrijskih proizvoda ili poluproizvoda u sipkom stanju i uskladištenje u silose smanjuje troškove i prijevoza i uskladištenja. U silose se može uskladištiti vrlo mnogo različitih tvari (tabl. 1).

Ponašanje tvari u silosima. Za projektiranje, proračun i izvedbu silosnih građevina od velikog je značenja ponašanje tvari pri punjenju silosa, u toku uskladištenja i pri pražnjenju, te njihovi fizikalni, kemijski i biološki utjecaji na čelije silosa ili na čitavo postrojenje.

Mehaničko djelovanje. Za proračun silosa vrlo je važan tlak na stijenke čelija. Tlak ovisi o gustoći tvari, kutu unutrašnjeg trenja i o koheziji, a kohezija pak ovisi o dimenzijama zrna i o vrsti tvari. Prema dimenzijama zrna i koheziji razlikuju se: *a*) prašinate tvari s promjerom zrna manjim od 0,1 mm (npr. brašno, cement, pepeo, kameno brašno); *b*) zrnaste tvari s promjerom zrna manjim od ~30 mm (npr. žito, mahunarke, uljarice, šljunak, pijesak, zrnasti polimerni materijali); *c*) krupnozrnaste tvari s velikim promjerom zrna (npr. rudače, ugljen, koks, vapno); *d*) kohezivne tvari (npr. sačma, stočna hrana).

Na prašinate tvari osim unutrašnjeg trenja djeluje još i kohezija. Na zrnaste tvari ne djeluje kohezija ili je ona vrlo

mala, pa je za ocjenu njihova ponašanja dovoljan samo podatak o kutu unutrašnjeg trenja. Kohezivne tvari obično nastaju obradom biljnih proizvoda, ako se ljuska zrna pri tom razori i oslobode se bjelančevine ili ulja. Tada nastaje više ili manje ljepljiva mješavina koja se vrlo teško prazni iz silosa, pa su potrebni dodatni zahvati da bi se olakšalo istjecanje.

Tablica 1
GUSTOĆA I KUT TRENJA TVARI KOJE SE SPREMAJU U SILOSE (prema DIN)

Vrsta tvari	Gustoća kg/dm ³	Kut trenja φ
Zivežne namirnice		
brašno	0,6	25°
šećer	0,95	35°
Poljoprivredni proizvodi:		
pšenica, ječam, raz., zob	0,9	30°
kukuruz	0,8	28°
mahunarke	0,85	25°
uljarice	0,65	25°
šećerna repa (sjeme)	0,30	30°
soja	0,78	23°
žitna i sladna sačma	0,4	45°
uljna sačma i miješana stočna hrana	0,55	45°
Anorganske tvari:		
šljunak i pijesak, suh ili zemljane vlažnosti	1,8	35°
mrki ugljen, zemljane vlažnosti	1,0	30°
kameni ugljen, zemljane vlažnosti	1,0	35°
pirit	2,7	45°
Industrijski proizvodi:		
cement	1,6	28°
cementni klinker	1,8	36°
Hidratirano vapno:		
pečeno, u komadima	1,3	45°
pečeno, mljeveno	1,3	25°
pečeno, gašeno	1,1	25°
Koks	0,65	35°
Leteći pepeo	1,0	25°
Koksnii pepeo	0,75	25°
Kameno brašno	1,3	27°
Prašina mrkog ugljena	0,5	25°
Prašina kamenog ugljena	0,7	25°
Kalijska sol	1,2	28°
Kalcinirana soda	2,5	20°
Polietilen, polistiren u zrnu	0,65	30°

Kemijski utjecaji. Mnoge tvari sadrže sastavne dijelove koji nagrizažu unutrašnje stijenke čelija, npr. soli, slobodne kiseline, masti, ulja ili sumpor. Otpornost betona na kemijske utjecaje može se postići povećanjem njegove gustoće. Ponekad se beton i druga gradiva moraju zaštititi prije unošenja agresivnih tvari u čelije.

Utjecaji topline. Vlažno žito, vlažan ugljen, sumpor i druge tvari postupno se zagrijavaju zbog bioloških ili kemijskih procesa i mogu se same od sebe zapaliti. To se sprečava pravodobnim pražnjenjem čelija, tvari se zatim osuše i prebace u druge čelije. Cement kojim se puni silos ima temperaturu od ~100 °C, a polako se hladi. To se mora uzeti u obzir pri proračunu silosne konstrukcije.

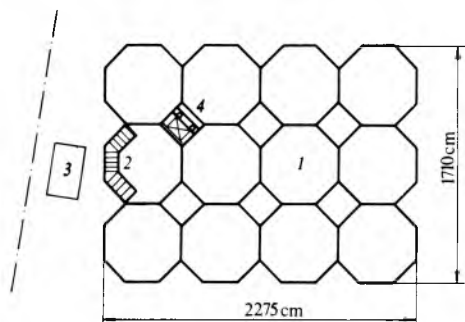
Opasnost od eksplozije. U silose se ne pohranjuju eksplozivne tvari, ali vrlo često treba računati s opasnosti od eksplozije. Raspršena prašina, naime, pomiješana sa zrakom stvara smjesu koja se pri određenom sastavu mješavine može zapaliti i eksplodirati. Među tvari od kojih može nastati eksplozivna prašina spadaju žito, mahunarke, uljarice, brašno i šećer. Takve eksplozije nisu rijetke, a njihove se posljedice mogu ublažiti ako se predvide otvori (odušci) u silosima.

Planiranje gradnje silosa. Kao i sve druge građevine koje se podižu zbog gospodarskih potreba, i silosi moraju zadovoljiti zahtjeve funkcionalnosti, racionalnosti, sigurnosti, trajnosti i estetike.

Pri planiranju silosa prvo se izrađuje studija ekonomske opravdanosti gradnje. Pri tom je od posebnog ekonomskog značenja izbor povoljne lokacije silosnog postrojenja s obzirom na prometnu mrežu. U projektnom programu vrlo je važno predvidjeti mogućnost da čitav silos ili dio silosnog postrojenja može promijeniti namjenu tijekom vremena. S tim valja računati kad se zadaju gustoća i kut unutrašnjeg

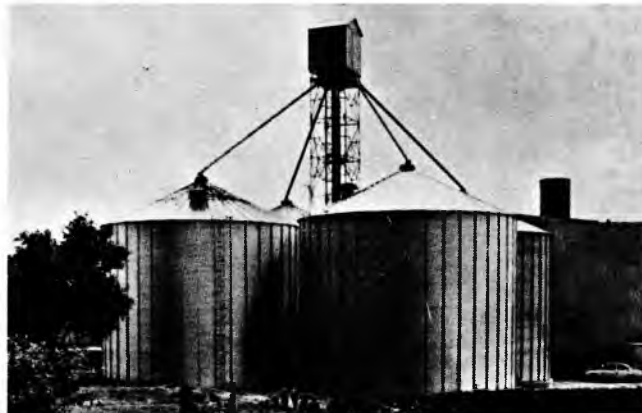
trenja tvari koja će se spremati u silose jer je, kad se mijenja namjena silosa, mnogo lakše promijeniti strojnu opremu nego pojačati stijenke ćelija za neko novo opterećenje.

Prostorna dispozicija. Prostorni raspored određuje se na osnovi odabranog tehnološkog procesa, sustava strojne opreme i načina transporta. Jezgra je svakog silosa strojarnica (strojno okno), koja služi, u prvom redu, za smještaj opreme za vertikalni prijenos tvari. Povezuje najnižu i najvišu točku građevine, a osim opreme za prijenos tvari u njoj su još obično smješteni i uređaji za čišćenje, otprašivanje i mjerenje mase tvari, te stubište i osobno ili teretno dizalo. U manjim silosima strojno se okno može smjestiti u jednu od ćelija unutar ćelijske jedinice (sl. 8), dok se u velikim silosima, koji se grade i dograđuju postupno, strojarnica često izvodi kao posebna građevina (sl. 9).

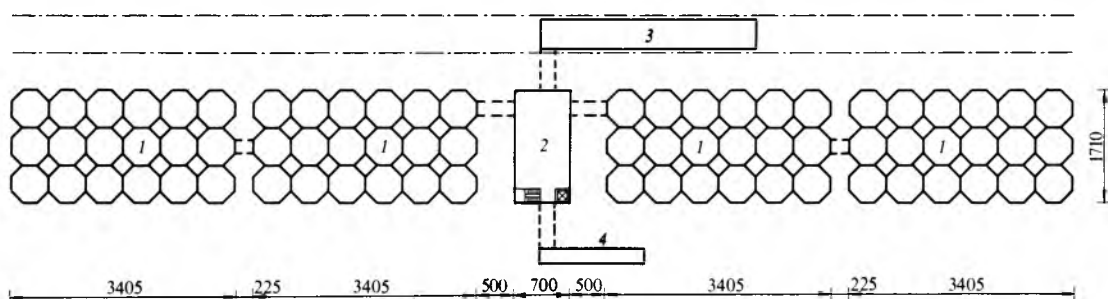


Sl. 8. Tlocrtni raspored silosnog postrojenja na sl. 5. 1 silosne ćelije, 2 strojarnica, 3 usipni koš; 4 dizalo i cijevi za vodu

Od vrha strojnog okna do ćelija tvari se mogu transportirati na dva načina. U manjim silosima gravitacijski kroz cijevi koje se granaju od vrha vertikalnog prenosila (sl. 11), a u većim vodoravnim prenosilima koja mogu biti nenatkrivena (sl. 7) ili smještena u potkrovlju (sl. 10). Od ćelija do dna strojnog okna u malim silosima tvari se mogu transportirati izravno cijevima, a u velikim silosima vodoravnim prenosilima smještenim u prohodnom rovu ili u podrumu. Duljina ćelijskog niza u jednom smjeru ograničena je na ~60 m zbog prijenosnih mogućnosti vodoravnih prenosila, pa su u duljim postrojenjima potrebna dodatna strojna okna.

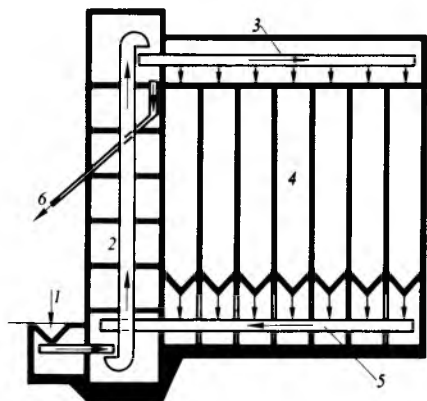


Sl. 11. Čelični silos za žito kapaciteta 4000 t sa 4 ćelije promjera 12,45 m i visine 10 m (izravan prijenos žita cijevima iz vertikalnog prenosila)



Sl. 9. Tlocrtni raspored silosnog postrojenja na sl. 4. 1 ćelijske jedinice, 2 strojarnica, 3 vagoni usipni koš, 4 kamionski usipni koš (kote u centimetrima)

Na slici 10 prikazano je jednostavno silosno postrojenje. Tvari se iz cestovnih ili željezničkih vozila usipaju u koš i transportiraju vodoravno do vertikalnog prenosila kojim se podižu do potkrovlja, gdje se vodoravnim prenosilom razdjeljuju u ćelije. Otvaranjem zasuna na lijevcima tvari iz ćelija istječu djelovanjem sile teže i drugim se vodoravnim prenosilom u podrumu transportiraju za otpremu do strojnog okna.



Sl. 10. Shema jednostavnog silosnog postrojenja. 1 usipni koš s vodoravnim prenosilom, 2 strojno okno s vertikalnim prenosilom 3 potkrovlje s vodoravnim prenosilom, 4 silosne ćelije; 5 podrum s vodoravnim prenosilom, 6 otpremna cijev

Obujam ćelija usklađuje se s namjenom silosa. Tako npr. tvornice stočne hrane zahtijevaju manje količine pojedinih tvari, dok silosi za žito ili silosi za šećer imaju velik obujam ćelija.

Silosu su građevine koje se jako ističu u prostoru zbog velika volumena i visine. Vanjski izgled silosnog postrojenja uglavnom ovisi o obliku ćelijske jedinice iznad koje strši strojarnica, pa se obično misli da nema mnogo izbora u oblikovanju takvih građevina. U novije doba, međutim, ima dosta primjera koji pokazuju da se originalnim formama baš tih velikih volumena, raščlanjenošću njihovih ploha i međusobnom uravnoteženošću može postići estetski sklad silosnih građevina.

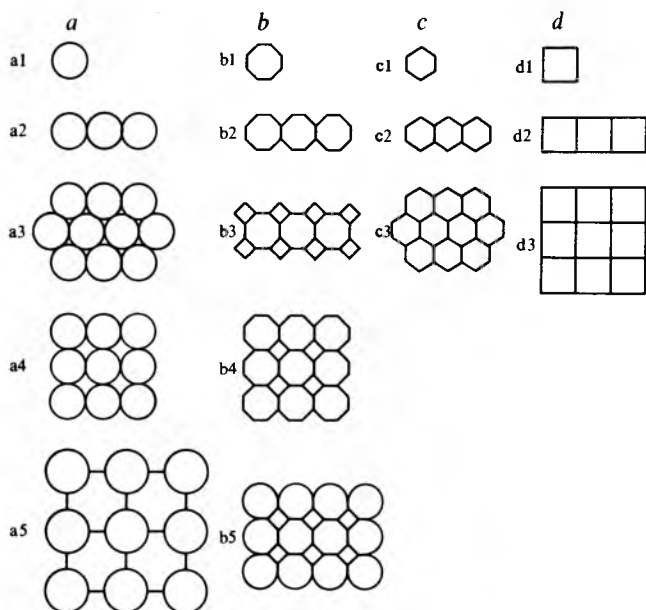
Oblici ćelija. Silosne ćelije najčešće su okrugle, osmerokutne, šesterokutne ili četverokutne (sl. 12).

Okrugle ćelije. Pojedinačne ili razdvojene okrugle ćelije u statičkom su pogledu najpovoljnije, jer se pri ravnomjernom punjenju i pražnjenju ne pojavljuju momenti savijanja u stijenkama, već samo uzdužne sile. Povoljna se svojstva kružnih ćelija gube kad se one međusobno spoje tako da između njih nastanu zvjezdaste ćelije sa tri (sl. 12a3) ili četiri kuta (sl. 12a4). Najnepovoljnija naprezanja nastaju u stijenkama koje su zajedničke za okrugle i zvjezdaste ćelije kad se obje vrste ćelija istodobno napune.

Okrugle ćelije mogu se međusobno razmaknuti i spojiti ravnim zidovima, tako da se izjednače površine okruglih i zvjezdastih ćelija (sl. 12a5). Takav oblik ćelijskih jedinica

vrlo je povoljan sa strojno-tehnološkog gledišta, dok je konstrukcijski vrlo nepovoljan, jer se u stijenama pojavljuju znatni momenti savijanja. Promjer okruglih ćelija ovisi o vrsti tvari i o tlocrtnoj dispoziciji silosa, a obično iznosi 4...25 m.

Osmerokutne ćelije. Zbog oblika i većih momenata savijanja osmerokutne su ćelije u statičkom pogledu nepovoljnije od okruglih, ali zato imaju prednosti u izvedbi i kad se stijenke ćelija betoniraju na mjestu gradnje i kad se ćelije sastavljaju od pretfabriciranih ravnih metalnih ili betonskih panela. Osmerokutne ćelije obično se postavljaju tako da između njih nastaju četvrtaste ćelije (sl. 12b3 do 12b5), koje osim za prihvatanje manjih količina tvari mogu poslužiti i za smještaj zavojitog stubišta, osobnog dizala i različitih instalacija.



Sl. 12. Najčešći tlocrtni oblici silosnih ćelija. a kružne, b osmerokutne, c šesterokutne, d četverokutne ćelije

Za ćelijske jedinice s osmerokutnim ćelijama od armiranog betona treba nešto manji utrošak betona i veća količina armature nego za ćelijske jedinice s okruglim ćelijama istog promjera. Vrlo je povoljno ako se vanjske plohe osmerokutnih ćelija zaoble (sl. 12b5). Promjeri ćelija osmerokutna oblika najčešće su 4...8 m.

Šesterokutne ćelije imaju uz najmanji opseg najveću površinu. Šesterokutne ćelije povoljne su sa strojno-tehnološkog gledišta, jer su površine svih ćelija jednake (sl. 12c), ali su statički nepovoljne zbog momenata savijanja u stijenama, koji su veći nego u okruglih i osmerokutnih ćelija jednaka promjera. Zbog toga su troškovi građevnih radova nešto veći za šesterokutne ćelije. Promjer je šesterokutnih ćelija obično 4...6 m.

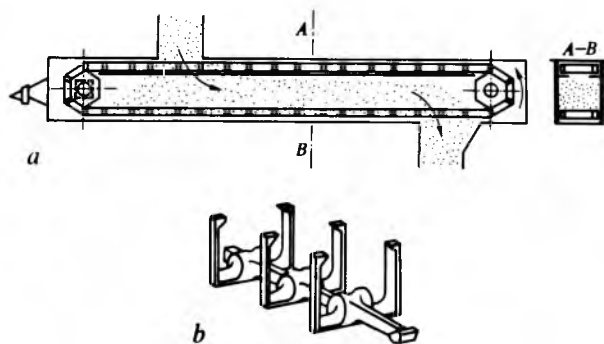
Četverokutne ćelije primjenjuju se za pojedinačne i jednodne ćelije te za ćelijske sklopove sastavljene od više redova (sl. 12d). I takve su ćelije strojno-tehnološki vrlo povoljne. Zbog velikih momenata savijanja uzrokovanih horizontalnim tlakom tvari na stijenke, četverokutne su ćelije statički najnepovoljnije, ali se ipak vrlo često grade kao montažni silosi, silosi za brašno te kao silosi za žito u mlinovima. Duljina stranica četverokutnih ćelija obično nije veća od 4...5 m.

Horizontalni transport u silosima. Za horizontalni transport tvari u silosima služe trakasta, lančana, tresiva i pužna prenosila (konvejeri).

Trakasta prenosila. Trakastim prenosilima transportiraju se tvari na beskrajnoj traci od čelika, gume, sintetskog materijala, tekstila ili žice. Poblje o trakastim transporterima v. *Prenosila i dizala*, TE 11, str. 138.

Lančana prenosila. Za transport se u silosima često upotrebljava zatvoreno povlačno prenosilo, tzv. redler (sl.

13), koje radi na principu povlačenja tvari pomoću lanca s krilima pri čemu se iskorištava veće unutrašnje trenje tvari u sloju od trenja na stijenama (v. *Prenosila i dizala*, TE 11, str. 144.). Lanac s krilima giba se unutar pravokutnog zatvorenog korita, koje se po potrebi brtvi da se spriječi izlaz prašine. Upotrebljavaju se za transport lako pokretljivih tvari (pšenica, raž, ječam, kukuruz, stočna hrana, pepeo, koks, kalijaska sol, umjetno gnojivo). Takva prenosila služe za vodoravni transport i transport na manjim kosinama. Najveća duljina vodoravnog prenosila može biti do 200 m, ali u silosima obično nije veća od 60 m. Brzina je lanca 0,1 do 0,4 m/s, a transportni učinak do 600 t/h.



Sl. 13. Zatvoreno povlačno prenosilo (a) i lanac prenosila (b)

Tresiva prenosila rade na osnovi oscilacijskog gibanja žlijeba u kojem se tvar nalazi. Povratnim gibanjem žlijeba tvar se postupno pokreće srednjom brzinom, koja ovisi o nagibu konvejera, amplitudi i broju povratnih gibanja, odnosno vibracija u jedinici vremena. Poblje o tresivim prenosilima v. *Prenosila i dizala*, TE 11, str. 136.

Pužna prenosila. Pužnim prenosilima transportiraju se tvari u koritu s pomoću rotirajuće zavojite plohe (puža) čvrsto povezane s vratilom. Poblje o pužnim prenosilima v. *Prenosila i dizala*, TE 11, str. 135.

Pužna prenosila služe za transport svih vrsta tvari, a mogu se upotrebljavati i kao naprave za preuzimanje prašinih tvari iz ćelija silosa s ravnim dnom. Standardno pužno prenosilo transportira tvari vodoravno i s nagibom do 25°. Kapacitet je pužnika 2,4...120 m³/h.

Vertikalni transport u silosima obavlja se elevatorima i pneumatskim prenosilima.

Elevatori prenose tvar u vedricama koje su jednoliko raspoređene na beskrajnom povlačnom elementu (v. *Prenosila i dizala*, TE 11, str. 150). Već prema brzini gibanja i veličini vedrica može se ostvariti prijenos žita i do 500 t/h.

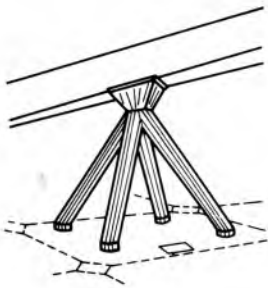
Pneumatska prenosila. Princip djelovanja pneumatskih prenosila zasniva se na pojavi da zračna struja tlači na tijela koja se nalaze u njoj i da ih pri određenoj brzini povlači sa sobom. Poblje o pneumatskim prenosilima v. *Prenosila i dizala*, TE 11, str. 152.

Pneumatska se prenosila upotrebljavaju za transport prašinih, zrnastih i sitnogrudastih tvari kao što su žita, mahunarke, ugljen, cement, brašno, sol, pijesak, soda, vapno i sl. Prema načinu kako se ostvaruju potrebne razlike tlaka zraka, pneumatska prenosila mogu biti usisna, tlačna i kombinirana. U kombiniranom prenosilu jedan dio uređaja radi usisavanjem, a drugi tlačanjem, što omogućuje prihvat tvari s više mjesta i njihov transport na više mjesta.

Prednosti su pneumatskih prenosila da tvari mogu transportirati u vodoravnom, kosom i okomitom pravcu, bez ostataka, prašenja i oštećivanja, a njihov nedostatak da troše 5...10 puta više energije nego mehanička prenosila. Promjer cjevovoda pneumatskih prenosila iznosi 50...350 mm, a učinak po jednoj cijevi do 100 t/h.

Punjenje ćelija. Iznad ćelijskog pokrova tvari se transportiraju vodoravnim prenosilima i potom cijevima do uljevnih grla. Konstrukciju uljevnih grla i njihov broj valja tako odabrati da se pri punjenju ćelije zrna ne razdvajaju, jer se mnoge tvari sastoje od zrna različite veličine i gustoće, koja

zbog toga padaju različitim brzinom u ćelijski prostor. U visokim i velikim ćelijama, i kad se radi o kohezivnim tvarima koje se teško usipaju, razdvajanje se zrna može spriječiti postavljanjem više uljevnih grla jednoliko raspoređenih po tlocrtu ćelije (sl. 14).



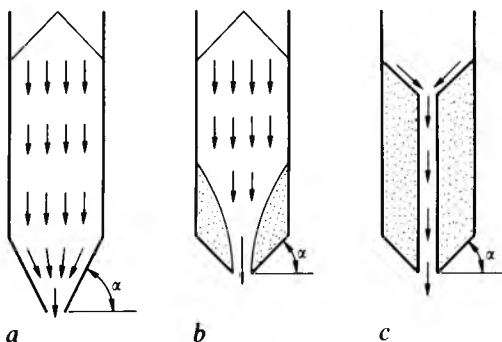
Sl. 14. Punjenje ćelije kroz četiri uljevna grla

Pražnjenje ćelija. Način pražnjenja ćelija ovisi o svojstvima istjecanja tvari. Za većinu zrnastih tvari dovoljno je samo otvoriti zasun na lijevku, za istjecanje prašinih tvari često su potrebna mehanička ili pneumatska pomagala, a za kohezivne tvari moraju se poduzimati posebni zahvati.

Kohezivne tvari formiraju u ćelijama svodove sa šupljim prostorima iznad zasuna, u području lijevka i po visini ćelije. Formiranjem svodova i njihovim rušenjem u stijenkama se ćelija pojavljuju dinamička naprezanja, tvari istječu vrlo nejednoliko, a ponekad su takvi svodovi toliko postojani da sprečavaju pražnjenje ćelija. U mnogim silosnim postrojenjima za tvari koje teško istječu ostavljaju se u donjim dijelovima ćelija otvori kroz koje se mogu uvući različita strugala, lanci ili puževi kojima se takvi svodovi mogu srušiti. Da bi se smanjili otpori trenja, ćelije za kohezivne tvari posebno se zaglađuju, poglavito površine u području lijevka.

Prašnaste tvari izvlače se iz velikih ćelija kroz gustu mrežu otvorâ po čitavoj tlocrtnoj površini. Istjecanje se prašinih tvari olakšava ako se u područje zasuna dovodi zračna struja jer tvari tada postaju fluidne, pa istječu iz ćelija kao kapljevinâ. Stalnim propuhivanjem zraka u silosima za homogenizaciju (npr. cementa) čitav je sadržaj ćelije neprekidno u pokretu i tvar je stoga vrlo jednolice izmiješana.

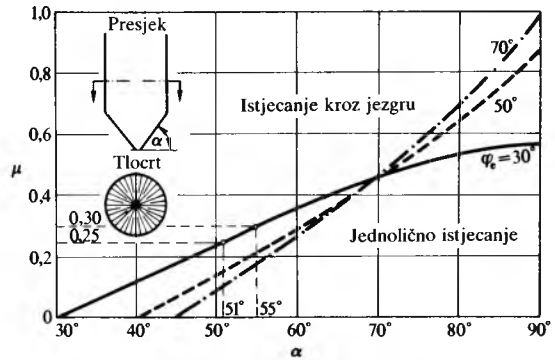
Tvari iz ćelija mogu istjecati na tri različita načina (sl. 15): a) jednolice (tada se pokreće čitav sadržaj ćelije), b) kroz jezgru u donjem dijelu (tada miruje donji dio sadržaja uz stijenke) i c) kroz jezgru na čitavoj visini (tada miruje najveći dio sadržaja uz stijenke ćelija).



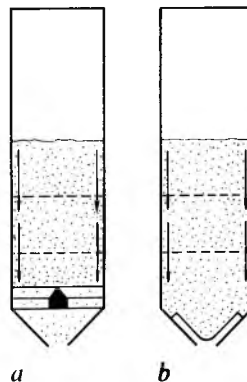
Sl. 15. Istjecanje tvari iz ćelija. a jednolice istjecanje, b istjecanje kroz jezgru u donjem dijelu, c istjecanje kroz jezgru po čitavoj visini

Način istjecanja ovisi o vrijednosti koeficijenta trenja μ tvari o stijenke, o kutu nagiba lijevka α i o kutu unutrašnjeg trenja φ (ili o efektivnom kutu unutrašnjeg trenja φ_e , koji odgovara kutu unutrašnjeg trenja za kohezivne tvari). Vrijedi da je $\mu = \tan \delta$, a δ je kut trenja tvari o stijenke. Kad su male vrijednosti koeficijenta μ ili kad je velik kut nagiba lijevka α , tvari najčešće istječu jednolice, a inače kroz jezgru (sl. 16). Tehnološki je najpovoljnije jednolice istjecanje, jer se ne pojavljuju svodovi i tvari iz ćelija istječu istim redoslijedom kao što su usute. Osim kroz lijevke s većim nagibima α , tvari

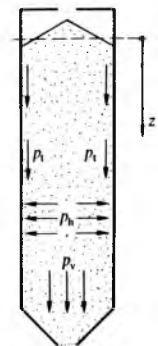
će jednolice istjecati i ako se pri vrhu lijevka manjih nagiba postave križne grede u osi jezgre (sl. 17a) ili ako zasuni imaju cijevi u obliku račve, u koje se usiplje tvar izvan jezgre (sl. 17b).



Sl. 16. Granice jednolice istjecanja tvari i istjecanja kroz jezgru za ćeliju okruglog poprečnog presjeka



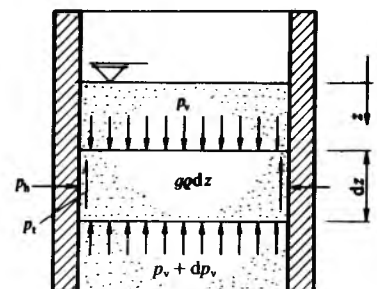
Sl. 17. Pomoćne konstrukcije u lijevcima za jednolice istjecanje a križne grede, b zasun s cijevima u obliku račve



Sl. 18. Tlakovi u ćeliji, p_h horizontalni tlak, p_t tlak trenja, p_v vertikalni tlak

Tlakovi u ćelijama. Kad se zrnaste i prašnaste tvari bez kohezije sipaju na ravnu podlogu, stvara se stožac, a kut što ga njegove izvodnice zatvaraju s vodoravnom ravninom naziva se kut prirodno pokosa. Taj kut ne ovisi samo o vrsti tvari već i o trajanju nasipanja i stupnju zgusnutosti tvari, a obično se uzima da ima jednaku vrijednost kao kut φ unutrašnjeg trenja tvari. Ako se sipa u ćeliju, tvar tlači stijenke ćelija (sl. 18). Taj se tlak može razlučiti na dvije komponente: horizontalnu, koja se naziva bočni ili horizontalni tlak p_h , i vertikalnu, koja se zbog trenja tvari o stijenku pojavljuje kao tlak trenja p_t po opsegu stijenke. Razlika težine tvari u ćeliji i sile zbog trenja o stijenke, vertikalno je opterećenje, koje se raspodijeljeno po vodoravnoj površini naziva vertikalnim tlakom p_v . Horizontalni i vertikalni tlak u ćeliji ne rastu proporcionalno s dubinom, kao kad bi silos bio napunjen kapljevinom, nego se s povećanjem dubine prirast tlaka u ćeliji smanjuje.

Janssenova teorija tlaka. Janssen je postavio (1895) jednadžbu ravnoteže vertikalnih sila koje djeluju na elementarni sloj tvari u ćeliji (sl. 19) i izveo izraze za vrijednosti tlaka.



Sl. 19. Stanje ravnoteže elementarnog sloja tvari u ćeliji

Ako je A površina ćelije, S opseg ćelije, g ubrzanje zemljine teže, ρ gustoća tvari, a z visina sloja tvari iznad elementarnog sloja visine dz , iz uvjeta ravnoteže slijedi da je

$$Ap_v + g\rho A dz = A(p_v + dp_v) + Sp_i dz \quad (1)$$

pa se, uz pretpostavku da je $\mu = p_i/p_h = \text{const.}$ i $\lambda = p_h/p_v = \text{const.}$, nakon integriranja dobiva:

$$p_v = \frac{g\rho A}{\mu\lambda S} \left[1 - \exp\left(-\frac{\mu\lambda z S}{A}\right) \right], \quad (2)$$

$$p_h = \frac{g\rho A}{\mu S} \left[1 - \exp\left(-\frac{\mu\lambda z S}{A}\right) \right], \quad (3)$$

$$p_t = \frac{g\rho A}{S} \left[1 - \exp\left(-\frac{\mu\lambda z S}{A}\right) \right]. \quad (4)$$

Ako je visina sloja beskonačno velika ($z \rightarrow \infty$), dobivaju se maksimalne vrijednosti tlakova:

$$p_{v\max} = \frac{g\rho A}{\mu\lambda S}, \quad (5)$$

$$p_{h\max} = \frac{g\rho A}{\mu S}, \quad (6)$$

$$p_{t\max} = \frac{g\rho A}{S}. \quad (7)$$

Vrijednost omjera λ može se odrediti iz izraza

$$\lambda = \frac{p_h}{p_v} = \frac{1 - \sin\varphi}{1 + \sin\varphi}, \quad (8)$$

dok je $\mu = \tan\delta$, gdje je δ kut trenja tvari o stijenke.

Utjecaji povećanja tlaka i proračunska opterećenja. Tlak tvari u ćelijama prema Janssenovoj teoriji vrlo se dobro slaže s rezultatima mjerenja, ali samo dok se silos puni i dok tvar u ćelijama miruje. Međutim, već kad se i samo malo otvori zasun na lijevku, čitav sadržaj ćelije odmah krene prema dolje povećavajući tlak na stijenke. Brzi prijelaz iz ravnotežnog stanja u mirovanju u kretanje tvari tokom pražnjenja uzrokuje veliko i naglo povećanje tlaka. Oštećenja mnogih silosa dimenzioniranih na tlak prema Janssenovoj teoriji i rezultati mjerenja tlaka pri pražnjenju, pokazuju, da je povećanje tlaka uvjetovano načinom pražnjenja i kretanja tvari u ćeliji. Povećanje tlaka tokom istjecanja ovisi o mnogim čimbenicima i različito je na različitim visinama ćelije. Faktor kojim treba množiti izračunani tlak da se dobije stvarni iznosi 1,1...2,0, a u posebnim uvjetima, npr. jako ekscentrični položaj zasuna na lijevku, velika brzina istjecanja tvari, mali kut trenja tvari o stijenke, jednoliko istjecanje, formiranje svodova od kohezivnih tvari i dr., taj faktor može imati i veću vrijednost.

Najveći vertikalni tlak p_v nastaje tokom punjenja, a najveći horizontalni tlak p_h i tlak trenja p_t tokom pražnjenja ćelija. Unatoč mnogim istraživanjima problem tlaka u ćelijama silosa do danas još nije sasvim rasvijetljen ni riješen. Propisi o određivanju opterećenja stijenki ćelija koji vrijede u pojedinim zemljama međusobno se dosta razlikuju. Zbog toga se navodi prijedlog G. Timma i R. Windelsa za određivanje vrijednosti tlaka u silosima.

Prema tom prijedlogu zadržavaju se Janssenovi izrazi, jer se pogodnim izborom vrijednosti za λ i μ tako dobivene vrijednosti tlaka mogu lako prilagoditi izmjerenim vrijednostima. Gustoće tvari uzimaju se iz tablice 1. Pri tome valja upozoriti da treba računati sa stvarnim gustoćama jer podaci u spomenutoj tablici daju samo prosječne vrijednosti. U tablici 2 navedene su vrijednosti za λ i μ tokom punjenja i pražnjenja silosa za četiri skupine tvari.

U skupine u tablici 2 uvršten je samo dio tvari koje se spremaju u silose, pa je druge tvari potrebno svrstati u odgovarajuću skupinu na osnovi usporedbe s tvarima u popisu. Pri tom je potrebna opreznost i u sumnjivom slučaju tvar treba svrstati u sljedeću višu skupinu.

Ako se tlak proračunava prema Janssenovim izrazima, s vrijednostima λ i μ iz tablice 2, opterećenje ćelija zbog tlaka

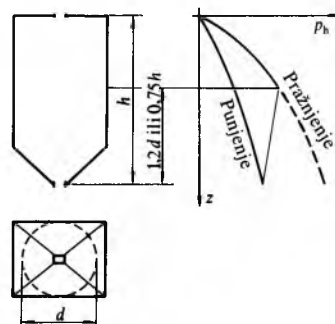
tvari može se smatrati kao mirno opterećenje i pri dimenzioniranju stijenki ćelija ne treba uzimati u obzir: a) utjecaj povećanja opterećenja zbog jednoličnog istjecanja tvari i glatкости stijenki ćelija; b) utjecaj povećanja opterećenja zbog ekscentričnog pražnjenja; c) dinamičko ponašanje tvari pri pražnjenju i rušenju svodova; d) utjecaj temperature okoline i tvari, dok temperatura tvari pri punjenju nije viša od 80 °C.

Tablica 2
VRIJEDNOSTI KOEFICIJENATA λ I μ TOKOM PUNJENJA I PRAŽNJENJA SILOSA ZA ČETIRI SKUPINE TVARI (prema DIN)

Skupina tvari	Punjenje		Pražnjenje	
	λ	μ	λ	μ
1. skupina	0,50	0,45	1,00	0,30
2. skupina	0,50	0,40	1,00	0,25
3. skupina	0,50	0,35	1,00	0,20
4. skupina	0,50	0,30	1,00	0,15

1. skupina: šljunak, pijesak, cement, cementni klinker, kameno brašno, aluminijski oksid, ugljena šljaka, šećer
2. skupina: žita (osim kukuruza), ugljen, koks, dehidrirano vapno, pepeo, ugljena prašina
3. skupina: kukuruz, soja, brašno
4. skupina: žitna i uljna saćma, stoćna hrana

Takvim proračunom tlakova nisu obuhvaćeni sljedeći utjecaji: a) porast tlaka u ćelijama okruglog poprečnog presjeka ili u ćelijama kojima kružni luk čini veći dio opsega; tada se preporučuje izračunano opterećenje povećati za 20%; b) porast opterećenja na lijevku ili na dnu ćelija zbog rušenja svodova formiranih od tvari spremljenih u silos. Zbog toga treba, prema DIN, računati s dvostrukim vertikalnim tlakom. Timm i Windels smatraju da je taj zahtjev opravdan samo izuzetno i preporučuju da se za silose za žito vertikalno opterećenje poveća za 20%, a za silose za kohezivne tvari za 60%; c) porast opterećenja pri uvođenju zraka u silos za homogenizaciju tvari (cementa) ili kao pripomoć pri pražnjenju prašinstih i zrnastih tvari. Za silose u kojima se tvar homogenizira s pomoću zraka, vrijednosti horizontalnog i vertikalnog opterećenja prema DIN iznose $p_h = p_v = 0,6 g\rho z$. Za ćelije silosa za prašinste tvari horizontalno opterećenje ne treba povećavati ako tlak zraka nije veći od proračunanog horizontalnog opterećenja, a za ćelije za zrnaste tvari, proračunanim vrijednostima horizontalnog opterećenja valja pribrojiti vrijednost tlaka zraka koji se uvodi. Taj se tlak linearno smanjuje od mjesta uvođenja do pokrovne ploče iznad ćelija ili do ugrađenog oduška; d) smanjenje opterećenja u blizini dna ćelije. Kad su zasuni centrićno postavljeni, i kad tvar istjeće kroz jezgru u donjem dijelu (pri tome ostali, donji dio uz stijenke miruje), horizontalni se tlak tokom pražnjenja, prema propisima DIN linearno smanjuje na horizontalni tlak tokom punjenja na visini 1,2d, ali ne većoj od 0,75h, mjerenoj od dna lijevka (sl. 20). Tu je d najmanja vodoravna širina ćelije (upisani promjer), a h ukupna visina ćelije. Propisi drugih zemalja ne dopuštaju takva smanjenja horizontalnog opterećenja.



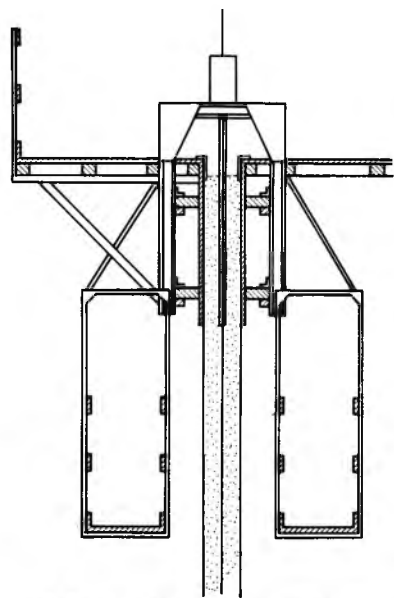
Sl. 20. Smanjenje horizontalnog opterećenja p_h u blizini dna ćelije prema normama DIN

Izvedba betonskih silosa. Silosi od armiranog i prednapetog betona najviše se izvode betoniranjem stijenki ćelija u kliznoj oplati. Ponekad se stijenke betoniraju i u prijenosnoj oplati, a za silose manjeg obujma i manje visine primjenjuje se i montažni način gradnje.

U montažnoj gradnji ćelije se mogu sastavljati od pretfabriciranih prostornih i ravninskih elemenata. Silosi s ćelijama pravokutna poprečnog presjeka i s ćelijama okrugla presjeka manjih površina sastavljaju se od prostornih segmenata. Ćelije okrugla presjeka većih površina sklapaju se od zakrivljenih elemenata, ćelije šesterokutna oblika slažu se od plošnih ravnih panela, a ćelije osmerokutna oblika grade se također od plošnih ravnih panela, ali u kombinaciji s prostornim segmentima od kojih se sastavljaju manje pravokutne ćelije. Način izradbe, prijenosa i postavljanja te sastavljanja montažnih elemenata u vertikalnom i horizontalnom pravcu bitno se ne razlikuje od načina izradbe, prijenosa, postavljanja i sastavljanja pretfabriciranih betonskih elemenata drugih inženjerskih konstrukcija.

Izvedbu stijenki silosa betoniranjem u prijenosnoj oplati karakteriziraju prekidi betoniranja, ovisni o visini oplata. Kako je visina prijenosne oplata obično 2...3 m, prekidi su vrlo česti, pa takvo građenje ima tehnoloških i konstruktivnih nedostataka, i u gradnji silosa sve se manje primjenjuje.

Silosi se danas najčešće grade kliznom oplatom (v. *Građevne oplata*, TE 6, str. 212), jer se kliznim postupkom beton bez prekida ugrađuje po čitavoj visini silosa (sl. 21).



Sl. 21. Gradnja silosa kliznom oplatom

Osnovna je karakteristika izvedbe silosa kliznom oplatom da je rad neprekidan i da u prosjeku traje jedan do dva tjedna. Zato se radovi moraju organizirati u dvije ili tri smjene. U kliznom postupku osobitu pozornost valja obratiti na sljedeće: točnu izradbu oblika oplata sa suženjem gornjeg dijela, točno centriranje i smještaj oplata, simetrično opterećenje oplata i dizalica, ujednačen rad dizalica i druge mehanizacije, održavanje ispravnog smjera kretanja klizne oplata (kontrola vertikalnosti stijenke), održavanje horizontalnog položaja dizalica (kontrola dizaličnih kočnica), utjecaj vjetrova, kiše i temperature.

Izvedba metalnih silosa. Metalni se silosi grade od čelika i aluminijskih slitina. Kako se, međutim, aluminijske slitine još rijetko primjenjuju u gradnji silosa, najčešće se, pod nazivom metalni silosi razumijevaju čelični silosi.

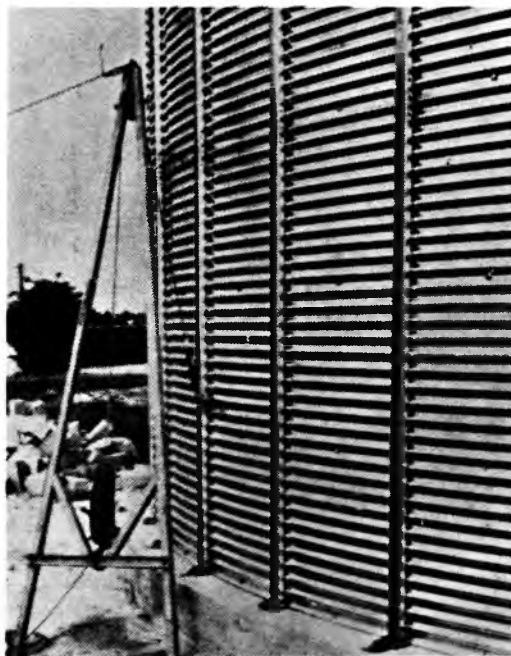
Prema konstrukciji i izradbi čelični se silosi mogu svrstati u tri skupine.

Prvu i najbrojniju skupinu tvore okrugli silosi koji se izrađuju od čeličnih limova zakrivljenih samo u jednoj ravnini (sl. 7). Osim pri dnu ćelija, gdje se ukružuju još i vertikalno,

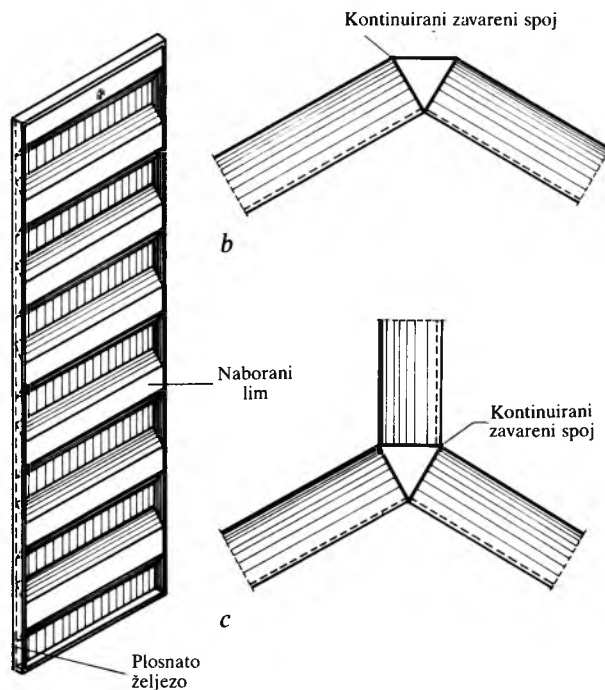
na najvećem dijelu spremnika limovi se ojačavaju najviše samo vodoravnim prirubnicama. Svi se međusobni spojevi limova, te limova s prirubnicama koji se izrađuju u radionici, zavaruju, dok se pri sastavljanju ćelija na gradilištu i prirubnice (spoj elemenata po horizontali) i limovi (spoj elemenata po vertikali) spajaju vijcima.

U drugu se grupu ubrajaju okrugli silosi koji se izrađuju od valovitih zakrivljenih čeličnih ploča ukrućenih stupcima (sl. 11 i 22). Stupci se postavljaju s vanjske ili s unutrašnje strane na razmacima od ~1 m. Oni preko podložnih ploča prenose uzdužne sile na temelj. Valovite zakrivljene ploče spajaju se međusobno i sa stupcima pomoću vijaka.

U treću skupinu spadaju silosi s ćelijama pravilne višekutne osnove (osmerokut, šesterokut i pravokutnik). Izrađuju se od



Sl. 22. Stijenka ćelije od valovitih zakrivljenih ploča ukrućenih stupcima



Sl. 23. Naborana čelična ploča (a), formiranje vanjskog (b) i unutrašnjeg (c) stupa šesterokutnih ćelija

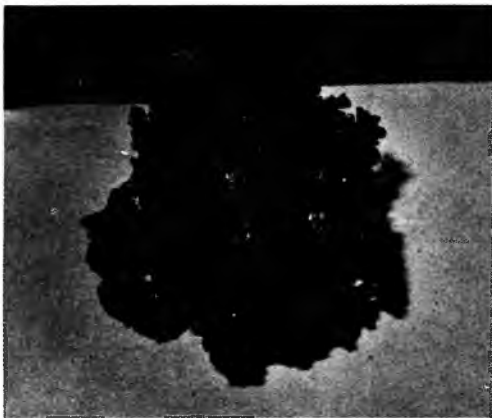
naboranih čeličnih ploča koje su po rubovima ojačane plosnatim željezom (sl. 23a). Ploče se na gradilištu spajaju zavarivanjem vertikalnih pojačanja, tako da u bridovima šesterokutnih (sl. 23b i c) i osmerokutnih čelija nastaje trokutast šupalj stup koji prenosi vertikalno opterećenje. Nosivost se toga stupa može povećati ako se šuplji prostor ispunji betonom i osigura sprezanje betona i čelika.

Čelični se silosi štite od korozije naličjem, a kad se pretfabricirani elementi spajaju na gradilištu samo vijcima, mogu se zaštititi i galvanskom prevlakom.

LIT.: W. Fischer, Silos und Bunker in Stahlbeton. VEB, Berlin 1966. – B. Madarević, Rukovanje materijalom. Tehnička knjiga, Zagreb 1972. – M. i A. Reimbert, Silos. Bauverlag, Wiesbaden-Berlin 1975. – G. Timm, R. Windels, Silos. Beton-Kalender 1984. Ernst & Sohn, Berlin 1984. – R. Ciesielski, A. Mitzel, W. Stachurski, J. Suwalski, Behälter, Bunker, Silos, Schornsteine und Fernsehtürme. Ernst & Sohn, Berlin 1985.

V. Čandrić

SINTERIRANJE, okrupnjavanje sitnozrnih ruda i koncentrata zagrijavanjem do temperature površinskog taljenja (temperature sinteriranja) na kojoj se zrna sljepljuju u čvrste, ali porozne aglomerate, tzv. *sinter* (od srednjovisokojemakčkog *sinter*, *sinder* žeravica, troska). Sinteriranje je često potrebno u preradbi sitnozrnih ruda i koncentrata, npr. kad se zbog toga svog svojstva ili ne mogu preraditi ili se preraduju s velikim teškoćama nekim specifičnim procesom. Među ostalim, oni se teško transportiraju, uzrokuju velike gubitke prašenjem, njihovi slojevi pružaju prevelik otpor strujanju plinova, imaju loša nasipna svojstva i sl. Kako je, osim toga, temperatura površinskog taljenja obično ~1000 °C ili viša, pri sinteriranju se iz sirovine često izdvajaju i štetne i nepoželjne tvari, npr. kristalna voda, ugljik-dioksid iz karbonata, sumpor i arsen, a dobiva se porozan *sinter* (sl. 1).



Sl. 1. Sinter

Sinteriranje se primjenjuje u ekstraktivnoj metalurgiji (v. *Metalurgija*, TE 8, str. 440) za pripremu komadnih uložaka od koncentrata rude za preradbu u reakcijskim pećima (v. *Reakcijske peći*, TE 11, str. 486). Tako se sinteriranjem oksidnih sitnozrnih željeznih ruda priprema uložak za visoke peći (v. *Gvožđe*, TE 6, str. 319). Tada je aglomeriranje glavna svrha sinteriranja. U proizvodnji metala od sulfidnih ruda, međutim, sinteriranjem se uz aglomeraciju provode i kemijske reakcije tzv. oksidacijskog prženja (v. *Cink*, TE 2, str. 649; *Olovo*, TE 9, str. 595), pa se to običava nazivati *aglomeracijskim prženjem*.

I u proizvodnji nekih građevnih materijala sinteriranjem se aglomerira uz istodobne kemijske reakcije. Tako se, npr., sinteriranjem, koje se naziva pečenjem, oblikuju crepovi i opeke (v. *Opeka*, TE 9, str. 604), te keramički proizvodi (v. *Keramika*, TE 7, str. 63). U proizvodnji nekih drugih

materijala sinterira se samo radi ostvarivanja kemijskih reakcija, npr. u proizvodnji cementa (v. *Cementi*, TE 2, str. 585) i glinice (v. *Aluminij*, TE 1, str. 227). Međutim, u proizvodnji cementa i lakih građevnih materijala procesi sinteriranja odvijaju se u reakcijskim pećima, pa se tada govori o *pečenju*, a u proizvodnji glinice o *kalcinaciji*, a ne o sinteriranju.

Posebno i vrlo važno područje sinteriranja čine mnogobrojni procesi za dobivanje proizvoda *aglomeracijskim oblikovanjem* od metalnog ili nemetalnog praha. Za takve postupke upotrebljavaju se nazivi *sinterska metalurgija* ili *metalurgija praha*.

Sinteriranje za aglomeracijsko oblikovanje mnogo je starije od sinteriranja u ekstraktivnoj metalurgiji. Tako se već u Egiptu (← 3000. god.) izrađivao željezni alat postupkom koji ima dosta zajedničkoga sa suvremenim aglomeracijskim oblikovanjem. Oko 1750. počeo se proizvoditi platinski prah radi proizvodnje predmeta od platine grijanjem i vrućim kovanjem. Prvi industrijski proizvodi metalurgije prahova bile su žarne niti za električne žarulje, i to najprije od ugljena, zatim od osmija, od 1900. od volframa (F. Hanamann), a nešto poslije od tantala i cirkonija. Tada se od praha najprije priređivala suspenzija koja se lijevala. Odljevak se zatim sušio i zagrijavao da se ispari vezivo i dobije konačan proizvod. Danas se volframske niti izrađuju postupcima sinterske metalurgije. Od proizvodnje volframnih žarnih niti razvila se proizvodnja sinteriranih matrica od kobalta i volfram-karbida za izvlačenje žica, a zatim za proizvodnju sinteriranih dijelova brzoreznih alata od tih i drugih materijala. Istodobno su se razvili postupci za proizvodnju sinteriranih poroznih materijala, feritnih jezgara za elektroničku industriju, magnetnih jezgara i različitih proizvoda od volframa, bakra i nikla. Početkom tridesetih godina počela se razvijati industrijska proizvodnja mnoštva proizvoda od željeznog praha. Velik razvoj sinterske metalurgije bio je uvjetovan naglim razvojem automobilske industrije, a poslije drugoga svjetskog rata razvojem svemirske i nuklearne tehnike, pa se danas proizvodi mnoštvo izradaka od željeznog i bakrenog praha, od praha tvrdih metala (volframa, molibdena, niobija, kroma, titana) i metala koji služe u nuklearnoj tehnici (berilija, urana, cirkonija, torija, tantala).

F. Heberlein i T. Huntington prvi su 1897. u Engleskoj primijenili sinteriranje za aglomeracijsko prženje u oplemenjivanju sulfidnih ruda i koncentrata. W. Job je predložio (1902) da se u mješavinu za sinteriranje pirinitnog izgorjelina dodaje i ugljen, a E. J. Savelsberg već 1905. predlaže da se sinez željezne rude sinterira u mješavini sa sitnim ugljenom i koksom. A. S. Dwight i R. L. Lloyd uveli su 1907. traku za sinteriranje ruda bakra, a zatim i primjenu podtlaka za usisavanje zraka i drugih plinova koji mogu biti potrebni za reakcije pri sinteriranju kroz rudnu posteljicu. Prvo industrijsko postrojenje za sinteriranje tipa Dwight-Lloyd uvedeno je 1911. u SAD, a 1914. je J. E. Greenawalt patentirao pravokutnu posudu, *tavu*, za sinteriranje.

A. Markotić S. Miloševski Ž. Viličić

SINTERIRANJE U EKSTRAKTIVNOJ METALURGIJI

Sinteriranje se danas najviše primjenjuje u oplemenjivanju željeznih ruda, a dominiraju uređaji tipa Dwight-Lloyd, kojima se dobiva više od 95% svjetske proizvodnje sintera.

Proces sinteriranja. Mješavina za sinteriranje sastoji se od rude ili koncentrata, dodataka i povratnog sintera (*povratka*). Dodaci su topitelji (vapnenac, dolomit ili vapno) i gorivo (sitni koks ili ugljen). Udio goriva čini 4...10% mase mješavine. Povratak se dodaje radi bolje propusnosti šarže, ali u ograničenim količinama, da se previše ne smanji proizvodnost postrojenja.

Granulometrijski sastav mješavine osobito je važan za proizvodnost. Maksimalna veličina zrna ne treba biti veća od 6 mm, a za dodatke je optimalna 2...5 mm. Ako su zrna manja od 1 mm, za preradbu je potrebno njihovo okrupnjavanje. To se čini mikropletiziranjem u bubnjevima. Pritom, što su veličinom rudna zrna veća, veća je i propusnost njihovih slojeva za plinove i vertikalna brzina sinteriranja. Na propusnost plina utječe i bazičnost sintera. Bazični sinter ima nekoliko puta veću propusnost od kiselog ili neutralnog sintera, jer je u kiselom sinteru veći udio silikata, a zbog toga se više materijala rastali i djelomično zapuni pore. Zato se upotrebom bazičnoga umjesto kiselog sintera povećava proizvodnost uređaja za 10...12%.

Pri kontinuiranom sinteriranju u postrojenjima s rešetkastom trakom (sl. 2) na nju se najprije nanosi tanki sloj povratka (*posteljica*) veličine zrna 10...20 mm, pa ovlažena i promiješana mješavina s udjelom vlage od 4...6%. Zadatak je posteljice da spriječi propadanje mješavine kroz traku i zaštititi posljednju rešetku od visokih temperatura. Sloj mješavine na posteljici može biti visok 180...500 mm, a najčešće je 250...400 mm. Ekshaustorom se ispod rešetke proizvodi