

7.2 KALANDRIRANJE

Kalandriranje je kontinuiran postupak pravljenja beskonačnih traka praoblikovanjem visokoviskoznoga rastopljenog polimera njegovim **propuštanjem između parova valjaka** kalandra s prilagodljivim zazorom. Obradak, kalandrat u obliku traka nastaje očvršćivanjem procesima geliranja i hlađenja, hlađenja ili umreživanja. U Procesu kalandriranja **kontroliraju se dvije dimenzije**, debljina i širina kalandrata.

Postupak je vrlo star. Nakon što su se celo stoljeće kalandrirale kaučukove smjese, počelo se 1938. i s kalandriranjem plastomera [poli(vinil-klorida)].

Kalandriraju se smjese od prirodnog i sintetskog kaučuka i plastomeri. Od plastomera to su: pretežno krti i savitljivi (tvrdi ili meki) poli(vinil-klorid), kopolimeri vinil-klorida, vinil-acetata i celuloznog acetata te polistiren i polietilen. Kalandriranje plastomera počelo je najprije sa smesama poli(vinil-klorida), što je i danas najčešće prerađivani polimer tim postupkom (60 % svih kalandrata). Kalandrati se najčešće upotrebljavaju za izradu pakovanja (ambalaže), namještaja, kancelarijske opreme i pribora te u građevinarstvu.

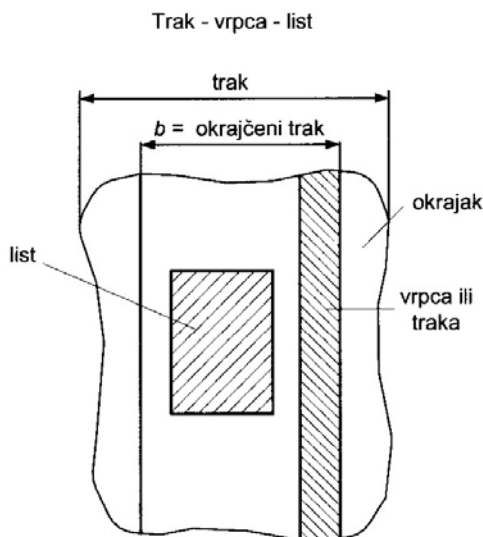
Pri kalandriranju PVC-a, plastificiranu (omekšanu) PVC smesu potrebno je pri prolasku kroz valjke gelirati. **Geliranje je potpuno stapanje čvrstih čestica** PVC polimerizata, obavijanih kapljevitim sastojcima, u homogenu rastopinu djelovanjem topline, pritiska i smičućih naprezanja. Rastopljena traka zatim se hladi.

Prema debljini, kalandrirane trake razvrstavaju se na

- **filmove (do 0,2 mm),**
- **folije (0,2 - 2 mm) i**
- **ploče (> 2 mm) (slika 7.2).**



SLIKA 7.2 Podjela kalandrata prema debljini traka s : film do 0,2 mm, folija 0,2 - 2 mm, ploča > 2 mm S obzirom na širinu proizvoda, razlikuju se trak te vrpca ili traka²⁷.



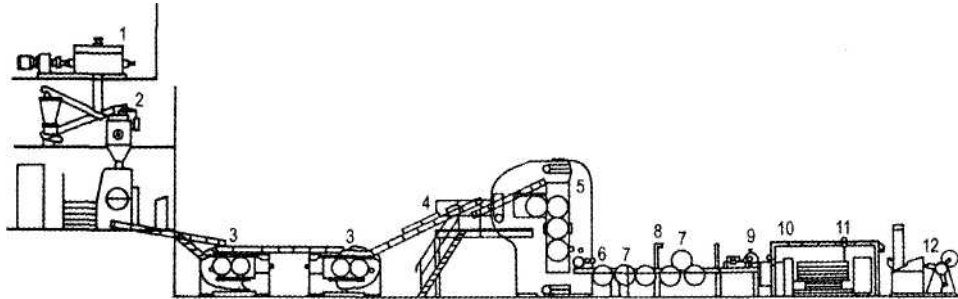
SLIKA 7.3 Podjela proizvoda prema širini i obliku (*/. Čatić*)

Ako se proizvodu odrede na neki način (npr. rezanje) dužina i širina, tada se radi o **listu**. Isto važi i za proizvode dobijene drugim postupcima.

Nakon izlaska iz kalandra traku je moguće oplemeniti, npr. utiskivanjem različitih reljefnih površina dezena. Traka se bočno poravnava (rezanje rubova) na propisanu širinu. Vrlo je važan nadzor debljine traka.

7.2.1 Linija za kalandriranje

Linija za kalandriranje krutih i savitljivih folija i ploča od PVC-a prikazana je na sl. 7.4.



SLIKA 7.4 Linija za kalandriranje krutih i savitljivih folija i ploča od poli(vinil-klorida); 1 - predmešalica, 2 - dozirna vaga, 3 - valjački stan za mešanje, 4 - transportna traka, 5 - četverovaljčani F-kalendar, 6 - utiskivalica dezena, 7 - rashladna staza, 8 - provera debljine kalandrata, 9 - poravnavanje rubova, 10 - poprečno sečenje (za krute folije i ploče), 11 - slaganje isečenih listova, 12 - uređaj za namotavanje (*Bilten Jugovinila*)

Osnovni elementi linije za kalandriranje mogu se podeliti u tri grupe:

- U prvoj je oprema potrebna za pripremu i dodavanje pripremljenog polimera kalandru,
- sam kalendar
- oprema potrebna da se izvaljana traka ohladi, oplemeni, poravna, kontroliše i namota na kalemове, odnosno izreže u potreban oblik.

Oprema za pripremu polimera za snabdevanje kalandra razlikuje se zavisno o vrsti osnovnog sastojka. Najkomplikovaniji su slučajevi pri preradbi kaučukovih i poli(vinil-hloridnih) smesa, jer smjese sadržavaju i po desetak najrazličitijih dodataka polimerizatu. **Za pripremu smesa prema potrebi koriste se razni vrste mašina za mešanje: jednopužni i dvopužni ekstruderi, klipne gnjčilice, kognječlice i dvovaljci.** Bitan je element linije za kalandriranje **lovac metala**, koji mora sprečiti oštećenje valjaka kalandra zbog moguće prisutnosti metalnih čestica u osnovnoj smesi.

7.2.2 Kalandar

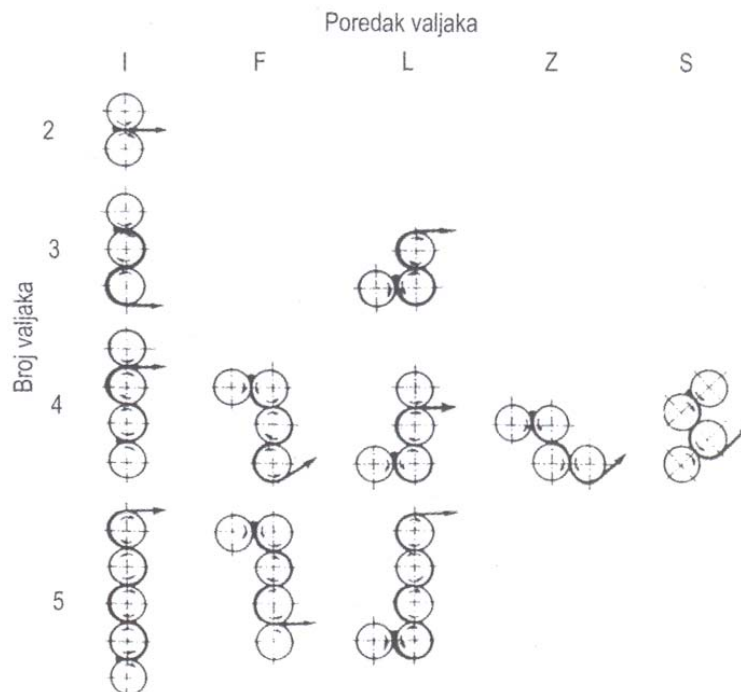
Najvažniji element linije za kalandriranje je kalandar. Za razliku od ostalih mašina, kalandar nema u sebi uključenu jedinicu za pripremu polimera.

Osnovni zadatak kalandra je da pritisnim delovanjem razvalja prethodno omekšani i uneti materijal na potrebnu debljinu.

Kalandri se razlikuju prema broju valjaka i njihovom međusobnom položaju (slika 7.6).

- Prema broju valjaka kalandri mogu biti od dvovaljčanih (dvovaljci) do petovaljčanih.
- Prema položaju valjaka razlikuje se I, F, L, Z i S izvedba.
- Pri kalandriranju traka od plastomera najčešće se upotrebljavaju četverovaljčani i petovaljčani kalandri u F i L izvedbi,
- Kod kaučukovih smesa, koriste se trovaljčani ili četverovaljčani kalandri.

Po pravilu su valjci kalandra nezavisno gonjeni, temperirani i međusobno podešeni na određeni zazor.



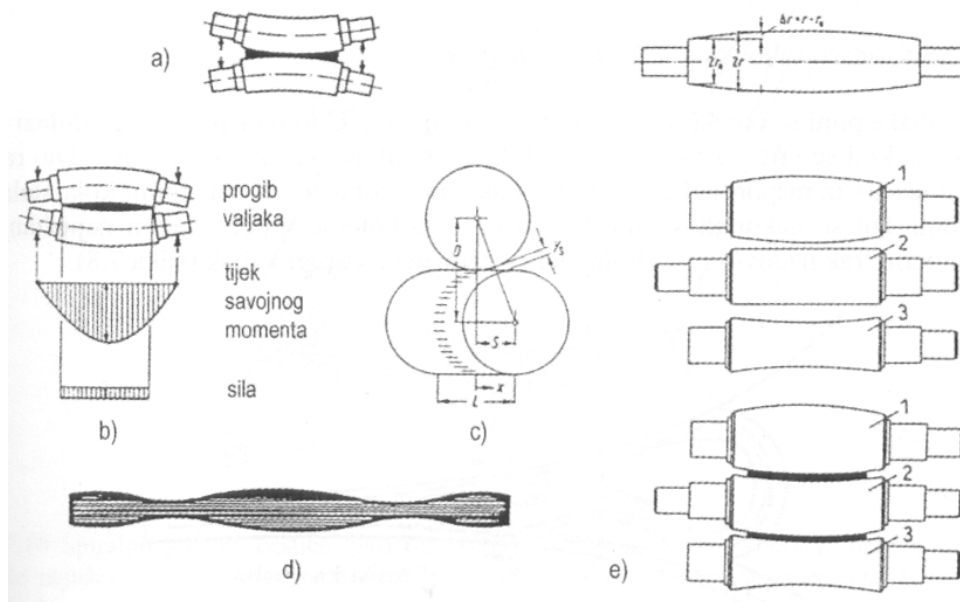
SLIKA 7.6 Poredak i broj valjaka u kalandru (H. Kopsch)

Ako se brzine valjaka u paru razlikuju reč je o frikcionom kalandriranju. Time se ostvaruje prisilan prelaz traka od jednog para valjaka na drugi.

Kapacitet kalandra izračunava se na temelju maksimalnog kapaciteta i za najnepovoljniji slučaj vrste smjese ili mešavine. Kapacitet kalandra g_{mk} jednak je:

$$Q = \pi D n_v h_v b \rho$$

gde su: D - prečnik valjka, n_v – broj obtaja valjka, h_v - konačna debljina trake, b - širina namotane trake, ρ - gustina.



SLIKA 7.7 Ispravljanje progiba valjaka kalandra; a - predsavijanjem valjaka, b - bez ispravljanja, c - kosim postavljanjem valjaka, d-profil traka pri ispravljanju progiba valjaka kosim postavljanjem i predsavijanjem valjaka, e - mehaničkim bombiranjem; 1 - konveksno bombirani valjak, 2 - ravni valjak, 3 - konkavno bombirani valjak (H. Kopsch)

Sile kojima su opterećeni valjci vrlo su visoke, pa su tako npr. linijske pritisne sile pri kalandriranju savitljivog PVC-a 100 do 2000 N/mm , a krutog PVC-a 1300 do 1800 N/mm . Zbog tako visokih linijskih sila i visoke smičuće brzine koja se kreće od $10^3-10^4 s^{-1}$, prerađivani polimer izložen je visokim tangencijalnim naprezanjima.

Zbog delovanja visokih linijskih pritisaka na valjke, potrebno je ispraviti

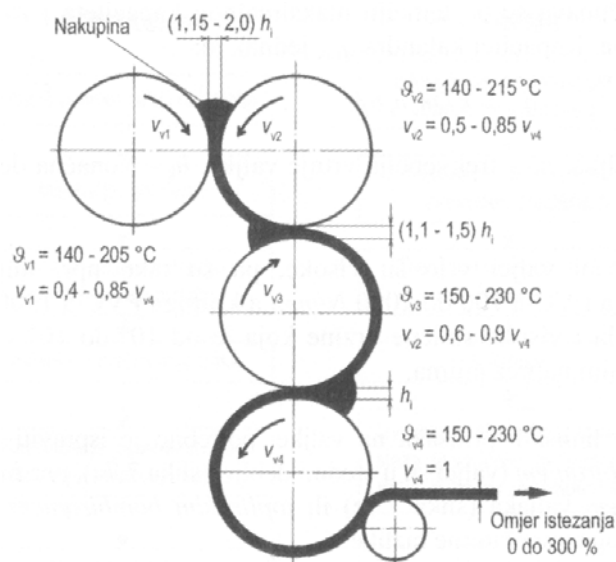
nastale ugibe. To se postiže mehaničkim *bombiranjem* (valjci su u sredini deblji) (slika 7a), *predsavijanjem* valjaka (slika 7.7b), *kosim postavljanjem* valjaka (slika 7.7c) ili *toplotnim bombiranjem* valjaka, gde je njegov prečnik u sredini veći zbog temperaturne razlike.

Nakon izlaska iz kalandra trake je moguće oplemeniti, npr. utiskivanjem različitih reljefnih površina, dezena. Traka se bočno poravnava (odsecanje rubova) na propisanu širinu. Vrlo je važna kontrola debljine traka, koja se obavlja npr. gama-zracima.

Posebним oblikom kalandriranja smatra se **udvostručenje - dubliranje**. Umesto polimerne smese, na podlogu se nanosi izrađena traka. Tako se npr. oblažu gumenom trakom gumirane tkanine. To su transportne gumene trake. Slično se spajaju dve različite plastomerne trake.

7.2.3 Procesi u zazoru (procepu) valjaka

Kalendar s F-rasporedom valjaka pogodan je za opis zbivanja u zazorima (procepima) kalandra (slika 7.8). Na slici su upisane uobičajene vrednosti temperatura pri prerai PVC-a te brzine valjaka.

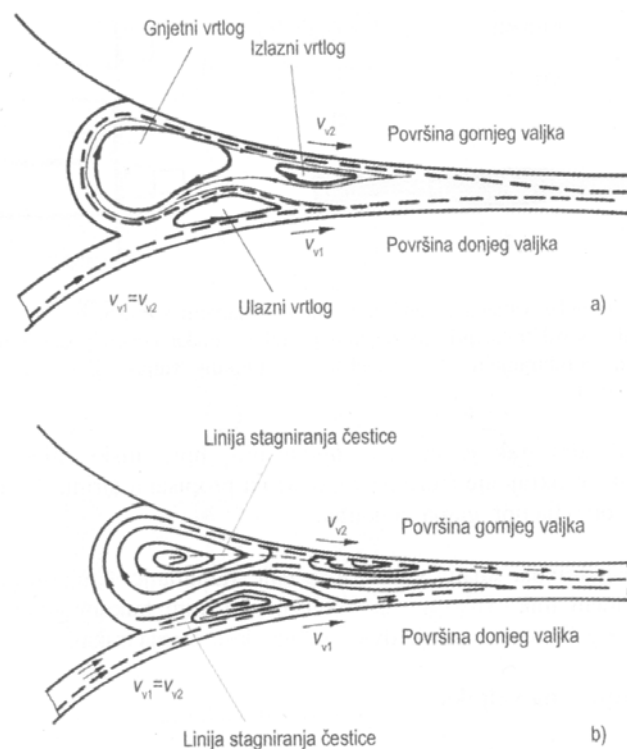


SLIKA 7.8 Presjek četverovaljanog F-kalandra (H. Kopsch)

- **Prvi procep** valjaka puni se omekšanom polimernom trakom. U tom procepu traka dolazi u dodir s vrućim valjcima koji se vrte u

istom smeru i dolazi do njenog sabijanja. Deo razvaljane trake biva uvučen i iz procepa izlazi u obliku trake, dok ostatak čini nakupljeni materijal koji rotira pred valjcima. Nakupljenom materijalu dodaje se neprekidno novi materijal.

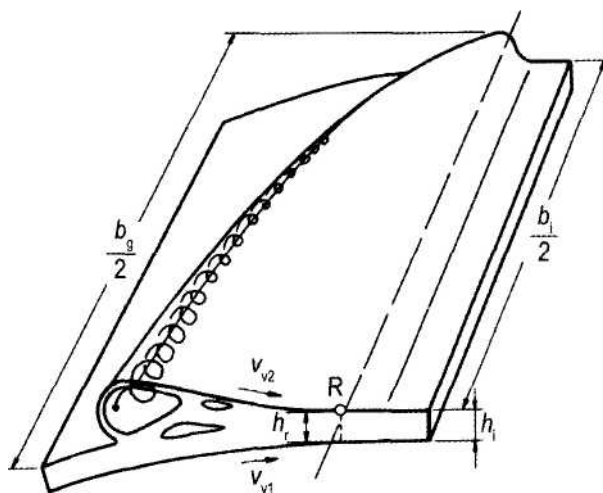
Nakon napuštanja prvog raspورا, polimerna traka nedovoljno je homogena i preuzima je drugi valjak (slika 7.8).



SLIKA 7.9 Shematski prikaz zbivanja pri gnjetenju u rasporu (H. Kopsch)

- **Drugi par valjaka (2, 3) manjeg je zazora.** Tu se već dešava stacionarno kalandriranje koje je obeleženo stalnim potiskivanjem dela polimera unatrag i zaokretanjem njegovih strujnica te njegovim unutrašnjim kidanjem, što zavisi od uslova izvlačenja. Time dolazi do neometanog tečenja gornjeg dela trake kroz raspor (slika. 7.9).

Zbog pritiska u vrtlogu rastop se potiskuje prema stranicama i to dovodi do dopunskog, spiralnog kretanja rastopa u smjeru ose valjka (si. 7.10).



SLIKA 7.10 Spiralno kretanje čestice duž valjka kalandra; v_{v1} , v_{v2} -obodne brzine valjka kalandra, R - mjesto najužeg raspora, h_r - visina najužeg raspora, h_l - visina izlaznog kalandrata, b , - širina izlaznog kalandrata, b_g - širina gnjetine (H. Kopsch)

Tokom kalandriranja mora se raspolagati s najmanje dva **procepa**, jer se u jednom paru valjaka tokom jednog prolaza obrađuje samo jedna površina.

7.2.4 Valjci

Valjci su najvažniji i najosjetljiviji elementi kalandra. Moraju biti vrlo precizno izradeni, a kvalitet površine mora biti vrhunski, uključivo postizanje visokog, sjaja valjaka. Uležištenje valjaka pretežno izvedeno je pomoću cilindrično-valjčastih ležaja. Valjci se izrađuju od čelika, tvrdog liva, često su površinski tvrdo hromirani. Posebno su dobri dvoslojni valjci u kojih je unutrašnjost čelična, dok je spoljašnji sloj otporan na habanje

Valjke treba temperirati, pretežno vodom, uz toleranciju temperature duž valjka od ± 1 K.

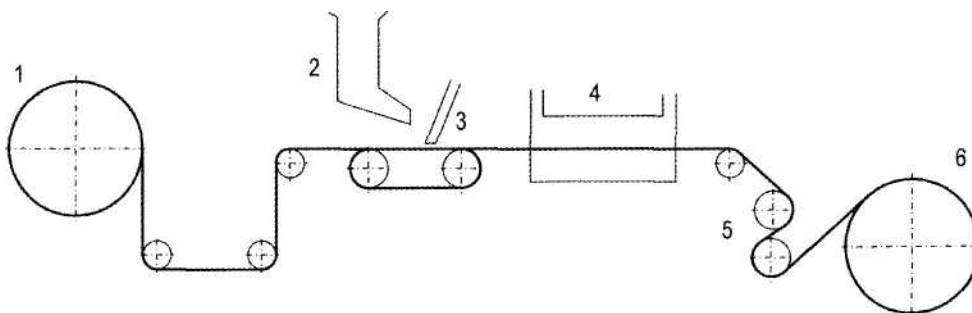
Valjci se pokreću pomoću električnog pogona sa kontinualnom promenom broja obrtaja i konstantnim obrtnim momentom. Regulisanje broja obrtaja postiže se Leonardovim uređajem sa tiristorskim upravljanjem.

7.3 KONTINUIRANO PREVLAČENJE

Prevlačenje je postupak kojim se polimer nanosi na podlogu. Podloga je u obliku trake od papira, metala, tekstila ili nekoga drugog tkanja, a tako se mogu proizvoditi i trake od polimernog materijala bez podloge. **Materijali pogodni za prevlačenje su oni koji stvaraju rastvore, rastope, disperzije, tj. oni koji se mogu liti u obliku paste.** Od polimernih materijala za tu svrhu svakako se najviše upotrebljava poli(vinil-hlorid), i to u obliku paste dobijene mešanjem praškastog poli(vinil-klorida) s omekšivačem i drugih dodataka (stabilizatori i dr.). **Među proizvodima dobijenim prevlačenjem na osnovi poli (vinil-klorida) vrlo je poznata sintetička koža skaj.**

Prevlačenjem kaučukovom smesom dobiva se npr. **gumirana tkaniina** (guma popunjava pore u tkanini). Pri prevlačenju kontroliše se samo debljina sloja.

Postrojenje za prevlačenje sastoji se od uređaja za odmotavanje i namotavanje podloge, dela za nanošenje polimera, komore za geliranje i valjaka za hlađenje (slika 7.11).



SLIKA 7.11 Postrojenje za prevlačenje; 1 — valjak za odmotavanje, 2 — rezervoar polimera, 3 — uređaj za nanošenje i nož, 4 — komora za geliranje, 5 — rashladni valjci, 6 — valjak za namotavanje (G. Menges)

Glavni dio postrojenja, onaj u kojemu se polimer nanosi na podlogu, može biti vrlo različit. Polimer se na traku najčešće nanosi tzv. noževima, prilagodljivim šipkama raznih oblika.

Noževi ravnomerno raspodjeljuju polimer po traci i uklanjaju višak. Tako se polimer nanosi na neoslonjenu podlogu, na podlogu koja se

transportuje beskonačnom gumenim trakom ili na podlogu oslonjenu na valjak.

Komora za geliranje može biti dugačka i do 20 m. Za vreme prolaska podloge kroz komoru, čestice polimera nanese na nju djelovanjem toplote potpuno se stope, geliraju. Kroz komoru najčešće struji vruć vazduh ili se pokretna traka zagreva infracrvenim zračenjem. Nakon izlaska iz komore za geliranje prevučena se traka hladi prolaskom između valjaka kroz koje struji rashladna voda.

Prevlačenjem se proizvode trake različite debljine nanesenog polimernog materijala, često i u nekoliko slojeva. Prolaskom između valjaka, od kojih je jedan s mestimično izbočenom površinom, traka može poprimiti reljefnu strukturu (utiskivanje). Trake bez podloge proizvode se tako da se polimer nanosi na beskonačne trake od metalnih sita, s kojih se proizvedene polimerne trake naknadno uklanjaju.

Postoje i drugi načini kontinuiranog nanošenja polimernih slojeva na podlogu. Osim noževima, polimeri se mogu kontinuirano nanositi na podlogu i pomoću uronjenog valjka, zatim livenjem ili ekstrudiranjem (slika 7.12).

SLIKA 7.12 Nanosenje polimera na podlogu; a-nožem, b-uronjenim valjkom, c - lijevanjem, d - ekstrudiranjem (kaširanje)
(G. Menges)

