

# ASPECTE TEORETICE PRIVIND PROCESUL TRIBOLOGIC DE POMPARE A BETONULUI

VLASE MONICA – șef lucrări dr.ing. – Facultatea de Utilaj Tehnologic  
SAVANIU MIHAI – șef lucrări dr.ing. – Facultatea de Utilaj Tehnologic

## **Abstract**

*Tribological processes characteristic to pumping processes of concrete, as well as its slepping through pipes are theoretically presented in this paper.*

*The theories regarding these processes are analised from the point of view of influence factors, especialy the influence of friction (friction coefficient).*

*The absence of sufficient informations regarding this coefficient requires theoretical and experimental studies on concrete pumping process.*

## **Rezumat**

*Procesele tribologice caracteristice pompării betonului, precum și transportului acestuia prin conducte sunt prezentate teoretic în această lucrare.*

*Teoriile legate de aceste procese sunt analizate din punct de vedere al factorilor de influență, mai ales influența frecării asupra procesului de pompare (coeficient de frecare).*

*Informațiile insuficiente din literatura de specialitate referitoare la coeficientul de frecare necesită studii teoretice și experimentale asupra procesului de pompare a betonului.*

**Keywords:** *pumping process of concrete, friction coefficient, wear.*

**Cuvinte cheie:** *proces de pompare a betonului, coeficient de frecare, uzare.*

## **INTRODUCERE**

În procesul de pompare a betonului sunt implicate multe cuple tribologice ale sistemelor mecanice, și anume, grupul de pompare, sertarele distribuitoare de beton, conductele de transport, echipamentul de distribuție a betonului pompat.

În literatura de specialitate nu există informații suficiente referitoare la procesele tribologice de pompare, și mai ales, de transport a betonului prin conducte.

În lucrarea de față sunt prezentate câteva aspecte teoretice referitoare la procesul tribologic de pompare a betonului.

Betonul proaspăt este un amestec vâscos cu două faze, în care faza solidă (nisip, pietriș) se găsește în suspensie în faza fluidă (liantul de ciment și apă). Liantul este mediul de suspensie pentru faza solidă și are o mare importanță în comportamentul reologic al betonului proaspăt.

Betonul proaspăt este caracterizat ca fiind un „fluid newtonian”, fiind considerat o „substanță reologică” (având o poziție de mijloc între solid și fluid).

Deplasarea betonului prin conducte este strâns legată de proprietatea lui de a fi pompat, și anume, betonul proaspăt trebuie să fie aspirat cu ușurință, apoi împins (comprimat și deplasat) din

pompa de beton în conducte, pentru ca apoi să fie transportat până la locul de punere în operă. Primele două cerințe sunt strâns legate și depind de construcția pompelor de beton, iar transportul betonului prin conducte depinde numai de caracteristicile betonului proaspăt și de caracteristicile conductelor, [1], [2].

### ASPECTE TRIBOLOGICE ALE POMPĂRII BETONULUI

Betonul proaspăt trebuie să poată fi „împins” cu ușurință prin conducte datorită presiunii de pompare. Astfel, el alunecă ca un dop datorită forței pistonului ce acționează asupra lui, [2].

Având în vedere cele prezentate, rezultă că deplasarea fără întreruperi a betonului printr-o conductă este posibilă dacă se formează pe perețele acesteia o peliculă de alunecare. Ea se poate forma numai dacă betonul proaspăt este saturat, lucru care se realizează atunci când procentul de liant de ciment este îndeajuns de mare, astfel încât să umple complet golurile dintre componentele betonului (nisip, pietriș).

Așa cum este arătat în fig.1., presiunea exercitată de către piston asupra dopului de beton, în timpul procesului de pompare, se transmite peretelui conductei prin intermediul liantului de ciment și nu prin agregatele conținute în beton.

Dopul de beton cilindric, care se comportă ca un solid, alunecă prin conductă fiind înconjurat de un film de fluid (strat limită de alunecare). Acest film se comportă ca un fluid newtonian și are o distribuție parabolică a vitezei (fig.1.).

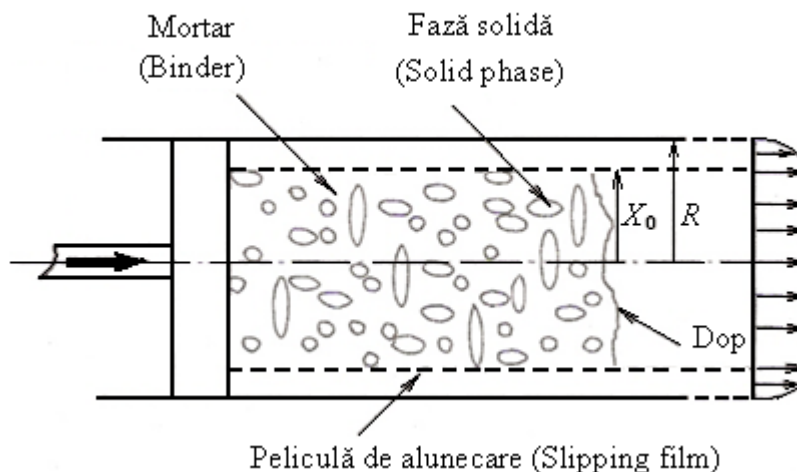


Fig.1. Formarea „dopului” de beton pompabil.

Pelicula de alunecare există atâta timp cât se conservă starea de saturare a betonului. Aceasta presupune că sub efectul căderilor de presiune din conducte, liantul de ciment nu este eliberat în direcția curgerii, din amestecul cu agregate, situație în care betonul ar deveni nesaturat.

Betonul proaspăt nesaturat, care se comportă ca un material lipsit de coeziune, [2], nu se poate deplasa nici chiar prin conducte cu lungimi mici. Dacă la deplasarea betonului proaspăt, în conductă

există chiar și numai o cantitate mică de beton proaspăt nesaturat, acesta din urmă poate cauza întreruperea procesului de transport. În acest caz, forța pistonului va fi transmisă direct asupra peretelui conductei, prin intermediul fazei solide a betonului.

Betonul pompabil are o comportare reologică ce poate fi descrisă exact de modelul Bingham. Procesele tribologice sunt studiate în zona stratului limită de alunecare. Aici au loc fenomene de eroziune abrazivă, [3].

Repartiția vitezei în zona imediat adiacentă peretelui, este greu de dedus analitic și constituie subiectul așa numitei teorii a stratului limită. Din cauza greutății realizării unor cercetări experimentale, se regăsesc în literatura de specialitate o serie de puncte de vedere foarte diferite.

Conform teoriei stratului limită a lui Tattersal [2], vâscozitatea materialului are o mare importanță în descrierea curgerii laminare la peretele conductei.

Fluxurile laminare apar doar în conducte cu diametre mici, la viteze mici și la deplasarea materialelor vâscoase. Dacă viteza crește fluxul poate trece în stare turbulentă. În acest caz, particulele de material nu se mai deplasează doar paralel, ca la o curgere laminară, ci și perpendicular pe axa conductei și se influențează reciproc. Se formează vârtejuri, care prin frecarea internă a particulelor de material sunt distruse mereu, dar se formează din nou.

Și în cazul curgerii turbulente s-a demonstrat existența peliculei de alunecare ce se formează în zona adiacentă a peretelui conductei, care nu este influențată de formarea vârtejurilor.

De asemenea, din punct de vedere teoretic, conductele de transport sunt considerate tehnic netede și se comportă „neted hidraulic“ dacă micile asperități ale peretelui sunt încă acoperite de stratul limită laminar.

În realitate însă, conductele pentru transportul betonului au o asperitate tehnologică a pereților și anume, vârfuri și goluri caracteristice suprafețelor rugoase expuse fluxului de material, fără strat protector și care măresc astfel rezistența la curgere. Se vorbește astfel de așa numitele conducte „aspre-grosolane-hidraulic“.

În cazul conductelor curbate, în zona coturilor, fluxul este redirecționat și astfel profilul de curgere este schimbat (fig.2.). În acest caz, în afară de frecare, apar pierderi suplimentare de presiune. După cum se arată în această figură, particulele de beton proaspăt trebuie deviate cu un unghi  $\beta$ , care este însă tot timpul mai mic decât unghiul curburii  $\Phi$ , acest lucru ducând la apariția unor disfuncționalități în timpul curgerii. Aceste disfuncționalități sunt influențate și de proprietățile betonului proaspăt, precum și de caracteristicile geometrice ale curburii conductei.

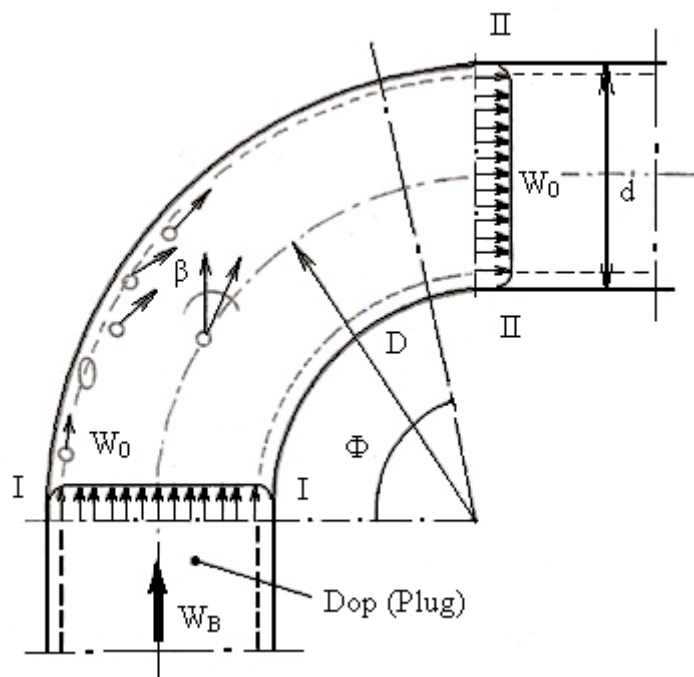


Fig.2. Curgerea „dopului“ de beton pompabil prin conducte curbate.

Teoretic, dar și practic s-a demonstrat faptul că aceste disfuncționalități în timpul curgerii sunt mai reduse în cazul unor valori ale curburii mai mici, precum și în cazul unor valori mai mari ale raportului  $D/d$  ale diametrelor conductei.

Tattersal [2] a stabilit că punctele periculoase de alterare a fluxului, care conduc la disociația amestecului solid-apă, se găsesc în jurul raportului diametrelor de  $D/d \approx 5,6$ . Mai puțin pronunțate sunt punctele de alterare pentru valori ale  $D/d > 7$ .

Ca urmare, putem considera procesul de pompare a betonului, dar mai ales procesul de transport al acestuia prin conducte metalice, ca fiind un proces complex influențat de mulți factori ce depind de caracteristicile betonului și ale echipamentului de pompare și transport al acestuia.

În continuare sunt prezentate câteva observații asupra teoriilor de curgere a betonului prin conducte. Aceste teorii se diferențiază în funcție de natura și numărul factorilor – determinați analitic și experimental – ce influențează procesul de curgere.

Cazul ideal care cuantifică totalitatea factorilor ce influențează procesul de pompare și care descrie fenomenele complexe de frecare-uzare caracteristice care apar, nu a fost încă prezentat în literatura de specialitate.

Teoria Joisel propune următoarea ecuație pentru calculul presiunii,  $p$ , în conducte:

$$p = k \exp\left(\frac{2 \cdot \mu}{R}\right) X \quad (1)$$

unde:  $p$  – presiunea în conductă;

$k$  – constanta de integrare, care depinde de  $\mu$ ;  
 $\mu$  – coeficientul de frecare dintre beton și conductă;  
 $R$  – raza interioară a conductei;  
 $X$  – punctul în care a fost calculată presiunea.

Conform acestei teorii, [5], rezultă că presiunea crește exponențial cu distanța de transport. Calculul presiunii cu relația (1) conduce la valori mari ale acesteia, valori care corespund cazului frecării uscate dintre beton și conductă (această teorie nu ia în considerare efectul real al „stratului limită de alunecare”).

Joisel propune și o relație simplificată de calcul a presiunii în conductă:

$$p = 0,14 \cdot \mu \cdot X_h \quad (2)$$

unde:  $X_h$  – distanța de transport pe orizontală.

Din analiza relațiilor anterioare rezultă că procesul de pompare și transport a betonului prin conducte, analizat pe baza acestei teorii, este insuficient descris și are un caracter aproximativ.

Literatura de specialitate oferă puține informații asupra coeficientului de frecare,  $\mu$ , și a factorilor săi de influență. Acest aspect este evidențiat și în cazurile celorlalte teorii ale curgerii betonului prin conducte.

Teoria Alexeev ia în considerare „stratul limită de alunecare” cu o grosime de  $1 \div 2 \text{ mm}$  (betonul proaspăt pompabil se deplasează cu o viteză constantă în secțiunea conductei și nu se modifică în structura lui, cu excepția unui strat limită de grosime  $1 \div 2 \text{ mm}$ ).

Efortul de forfecare este dependent de viteza de alunecare a dopului de beton prin conductă și poate fi calculat cu ecuația propusă de Alexeev:

$$\tau_s - \tau_0 = \left( \frac{V}{k_1} \right)^{\frac{1}{k_2}} \quad (3)$$

unde:  $\tau_s$  – tensiunea de forfecare în stratul limită de alunecare;

$\tau_0$  – tensiunea inițială de forfecare (curgere);

$V$  – viteza dopului de beton;

$k_1, k_2$  – coeficienți care se determină experimental și care au valori în funcție de conținutul de apă, nisip și ciment și de calitatea acestor componente.

Teoria Rössing propune determinarea pierderilor prin frecare luând în considerare caracteristicile geometrice ale dopului de beton (diametru, lungime), proprietățile betonului (tensiunea de forfecare, vâscozitate) și debit, [6].

Această teorie nu prezintă rezultate satisfăcătoare, mai ales din cauza dificultății determinărilor experimentale ale caracteristicilor reologice ale betonului.

Teoria Morinaga este mult mai precisă pentru că ia în calcul mai mulți factori ce influențează curgerea betonului prin conducte, factori ce sunt cuantificați cu o precizie mult mai mare, [4].

Conform acestei teorii, ecuația de calcul a presiunii de curgere este:

$$P = \frac{r}{2\mu k_2} \cdot \exp\left(\frac{2\mu k_2}{r}\right) \left[ \frac{2}{r} (C + k_1 v) + \rho \frac{dv}{dt} + \gamma \sin \varphi \right] + \left[ 1 - \exp\left(\frac{2\mu k_2}{r}\right) \right] \quad (4)$$

unde:  $r$  – raza interioară a conductei;

$\mu$  – coeficientul de frecare dintre beton și conductă;

$k_1, k_2$  – coeficienți ce depind de viteză și presiune;

$C$  – coeficient de coeziune (consistență);

$\rho$  – densitatea betonului;

$\gamma$  – greutatea specifică a betonului;

$v$  – viteza de deplasare a dopului de beton;

$\varphi$  – unghiul pe care-l face conducta cu orizontala.

## CONCLUZII

- Procesele tribologice caracteristice curgerii betonului prin conducte se manifestă în zona stratului limită, de alunecare la peretele conductei și sunt influențate de proprietățile acestuia.
- Studiile teoretice și determinările experimentale din literatura de specialitate nu acoperă toate aspectele tribologice legate de stratul limită. De aceea, cercetările trebuie continuate.
- Ecuațiile ce descriu procesul de pompare a betonului prin conducte iau în considerare, ca factor de influență al acestui proces, coeficientul de frecare dintre dopul de beton și pereții interiori ai conductei de transport.

În literatura de specialitate nu există suficiente informații legate de valorile coeficientului de frecare dintre dopul de beton și pereții interiori ai conductei de transport, precum și a factorilor care-l influențează. În acest sens, autorii își propun ca obiective de cercetare ulterioare:

- studiul influenței caracteristicilor „stratului limită” la peretele conductei asupra coeficientului de frecare, împreună cu studiul proprietăților reologice ale betonului.
- realizarea unui model cât mai exact de simulare a procesului de transport a betonului prin conducte ținând cont de efectul real al „stratului limită de alunecare” la peretele conductei.

- îmbunătățirea metodelor și tehnicilor de măsurare a coeficientului de frecare și a uzurii conductelor ca urmare a procesului de pompare.

## **BIBLIOGRAFIE**

- [1] VÎȚĂ, I. BRATU, P.– Pompe de beton. Ed. Tehnică, București, 1985.
- [2] TATTERSALL, G.H.– The rheology of fresh concrete, 1982.
- [3] EDE, A.N.– The resistance of concrete pumped through pipelines, Magazine of Concrete Research, 1987.
- [4] MORINAGA,S.– Pumpability of concrete and pumping pressure in pipelines, in Fresh Concrete: Important Properties and their Measurement, Leeds, 1973.
- [5] JOISEL, M.– Theorie de la pompe a beton, I.T.B.T.B., Paris, 1951.
- [6] RÖSSING, M.– Fördern von Frischbeton, ins besondere von Leichtbeton durch Rohrleitungen, Aachen, 1974.