

8. Ungerea rulmenților



Funcționarea sigură și de lungă durată a rulmenților este condiționată și de tipul și calitatea lubrifiantului, inclusiv de modul în care se realizează ungerea acestora.

Ungerea rulmenților are ca scop:

- să micșoreze frecarea de alunecare între corpurile de rostogolire și căile de rulare în timpul funcționării, între corpurile de rostogolire și colivie și între colivie și umerii de ghidare a inelelor,

- să asigure protejarea anticorrosivă a rulmenților,
- să micșoreze, în anumite limite, zgomotul produs în rulment,

- să uniformizeze repartitia căldurii în zonele de contact și să asigure evacuarea acesteia în exterior, prin circulația lubrifiantului. Lubrifiantii utilizați la ungerea rulmenților trebuie să îndeplinească următoarele condiții fundamentale:

- să aibă stabilitate fizică și chimică,
- să nu conțină impurități mecanice (corpuri abrazive, metalice etc),

- să aibă un coeficient de frecare minim,

- să nu corodeze,

- să prezinte o onctuozitate (capacitate de ungere) bună.

Lubrifiantii folosiți la ungerea rulmenților pot fi împărțiți în două categorii:

- lubrifianti lichizi (uleiuri),

- lubrifianti plastici (unsori consistente).

Câteva elemente de comparație între lubrifiantii lichizi și plastici sunt date în tabelul 8.1.

Deși caracteristicile lubrifiantilor lichizi sunt superioare celor plastici, utilizarea lor nu este pe măsura acestora, datorită, în principal, dificultăților de etanșare.

Valori comparative pentru lubrifianti

Tabelul 8.1

Caracteristici	Lubrifiant lichid	plastic
viteză	orice valori	joasă și medie
frecare	redușă	mare
onctuozitate	excelentă	bună
durabilitate	lungă	scăzută
efect de răcire	ridicat	slab
înlocuire	ușoară	dificilă

funcționarea sigură și de lungă durată a rulmenților este condiționată și de tipul și calitatea lubrifiantului, inclusiv de modul în care se realizează ungerea acestora. Ungerea rulmenților are ca scop: să micșoreze frecarea de alunecare între corpurile de rostogolire și căile de rulare în timpul funcționării, între corpurile de rostogolire și colivie și între colivie și umerii de ghidare a inelelor, să asigure protejarea anticorrosivă a rulmenților, să micșoreze, în anumite limite, zgomotul produs în rulment, să uniformizeze repartitia căldurii în zonele de contact și să asigure evacuarea acesteia în exterior, prin circulația lubrifiantului. Lubrifiantii utilizați la ungerea rulmenților trebuie să îndeplinească următoarele condiții fundamentale: să aibă stabilitate fizică și chimică, să nu conțină impurități mecanice (corpuri abrazive, metalice etc), să aibă un coeficient de frecare minim, să nu corodeze, să prezinte o onctuozitate (capacitate de ungere) bună. Lubrifiantii folosiți la ungerea rulmenților pot fi împărțiți în două categorii: lubrifianti lichizi (uleiuri), lubrifianti plastici (unsori consistente). Câteva elemente de comparație între lubrifiantii lichizi și plastici sunt date în tabelul 8.1. Deși caracteristicile lubrifiantilor lichizi sunt superioare celor plastici, utilizarea lor nu este pe măsura acestora, datorită, în principal, dificultăților de etanșare.

Alegerea lubrifiantilor trebuie făcută cu mare grijă, cu luarea în considerare a tuturor condițiilor de lucru, precum și a tuturor proprietăților acestora. Nu există sistem de ungere universal. Criteriile principale pentru alegerea lubrifiantilor utilizați la rulmenți sunt următoarele: mărirea rulmentului, turația, sarcina, temperatura de funcționare a rulmentului. Aceste caracteristici influențează, în principal, asupra viscozității lubrifiantului, astfel: cu cât dimensiunile rulmentului, valoarea sarcinii și temperaturii vor fi mai mari, cu atât va fi mai mare și viscozitatea uleiului, turația rulmentului are influență prin produsul $D_m n$, conform precizărilor din tabelul 8.2.

Alegerea lubrifiantilor

Alegerea lubrifiantilor trebuie făcută cu mare grijă, cu luarea în considerare a tuturor condițiilor de lucru, precum și a tuturor proprietăților acestora. Nu există sistem de ungere universal.

Criteriile principale pentru alegerea lubrifiantilor utilizați la rulmenți sunt următoarele:

- mărirea rulmentului,

- turația,

- sarcina,

- temperatura de funcționare a rulmentului.

Aceste caracteristici influențează, în principal, asupra viscozității lubrifiantului, astfel:

- cu cât dimensiunile rulmentului, valoarea sarcinii și temperaturii vor fi mai mari, cu atât va fi mai mare și viscozitatea uleiului,

- turația rulmentului are influență prin produsul $D_m n$, conform precizărilor din tabelul 8.2.

Corelația $D_m n$ - tip lubrifiant

Tabelul 8.2

$D_m n$ peste	pînă la	Tipul lubrifiantului
-	150×10^3	uleiuri minerale și unsori consistente cu viscozitate medie sau mare
150×10^3	300×10^3	uleiuri minerale cu viscozitate medie și unsori consistente
300×10^3	500×10^3	uleiuri minerale cu viscozitate mică și unsori consistente
500×10^3	1200×10^3	uleiuri minerale cu viscozitate mică și instalație de ungere

Ungerea rulmenților cu unsori consistente

Ungerea rulmenților cu unsori consistente se face numai în cazul în care produsul $D_m n < 500 \times 10^3$ și prezintă

următoarele avantaje:

- protecția anticorozivă a rulmentului,
- menținerea calității unsoarelor la contactul cu apa,
- eficiența economică prin durabilitatea unsoarelor.

Cantitatea de unsoare consistentă folosită la ungerea rulmenților nu trebuie să fie prea mare, deoarece îngreunează rotirea, crește frecarea și, implicit, temperatura de funcționare, fără, însă, a prelungi durabilitatea rulmenților.

Cantitatea de unsoare consistentă introdusă în locașul rulmentului se apreciază în raport cu volumul liber din carcasă, astfel:

- 1/2...3/4 din volumul liber, pentru turații normale,
- 1/3 din volumul liber, pentru turații mari, turații limită,
- întreg volumul liber, pentru turații mici, cu produsul

$$D_m n < 10 \times 10^3.$$

Cantitatea de unsoare mai poate fi calculată în funcție de diametrul alezajului rulmentului, după relațiile:

$$G = K d^{2,5}, g,$$

unde:

$K = 1/900$ - pentru rulmenții cu bile,

$K = 1/350$ - pentru rulmenții cu role,

d = diametrul alezajului, mm.

Intervalele de reungere, în cele mai multe cazuri, sunt stabilite în mod experimental și depind de următorii factori:

- tipul rulmentului,
- mărimea acestuia,
- temperatura de funcționare,
- proprietățile unsoarelor.

Calculul duratei de utilizare a unsoarelor și a intervalului de reungere se face cu relația:

$$T_{ur} = k_0 \left(\frac{14 \times 10^6}{n \sqrt{d}} - 4d \right) f_1 f_2,$$

unde:

T_{ur} = durata de utilizare sau intervalul de reungere, în ore de funcționare,

k_0 = coeficientul ce ține cont de tipul rulmentului, tabelul 8.3,

n = turația, rot/min,

d = diametrul alezajului, mm,

f_1 = factorul de temperatură, tabelul 8.4,

f_2 = factorul dependent de condițiile de exploatare, tabelul 8.5.

Valoarea coeficientului k_0

Tabelul 8.3

Tipul rulmentului	Valoarea lui k_0 interval de reungere	durata de utili- zare a unsoarelor
Rulmenți radial-axiali cu bile	1	2
Rulmenți radial-axiali cu role conice		
Rulmenți axiali cu bile		
Rulmenți radiali cu role cilindrice	5	15
Rulmenți cu ace		
Rulmenți radiali cu bile	10	20...40

Valorile mai mici se iau pentru rulmenții radiali cu bile, cu șaibe de protecție de tipul 2Z sau cu șaibe de etanșare de tipul 2RS, din seriile 60,62 și 63.

Valorile factorului f_1

Tabelul 8.4

Temperatura	70°C	85°C	100°C
Factorul f_1	1	0,5	0,25

Valorile factorului f_2

Tabelul 8.5

Condiții de lucru	Ușoare	Moderate	Grele	Foarte grele
Factorul f_2	1	0,7...0,9	0,4...0,7	0,1...0,4

Intervalul de reungere a rulmenților se mai poate determina și cu ajutorul nomogramei din figura 8.1, în funcție de tipul rulmentului, diametrul interior și turație.

Exemplu

Să se stabilească duratele de utilizare a unsoarelor și de reungere a rulmentului 6208-2RSR, care funcționează în următoarele condiții: sarcina redusă (nu se ia în calcul), turație $n = 15$ rot/min, temperatura $+60^\circ\text{C}$, condiții ușoare de lucru.

Durata de utilizare a unsoarelor va fi:

$$T_u = k_0 \left(\frac{14 \times 10^6}{n \sqrt{d}} - 4d \right) f_1 f_2 = 32\,893 \text{ ore},$$

$k_0 = 25$ din tabelul 8.3,

$d = 40$ mm,

$f_1 = 1$, din tabelul 8.4,

$f_2 = 1$, din tabelul 8.5.

Durata de reungere:

$$T_r = k_0 \left(\frac{14 \times 10^6}{n \sqrt{d}} - 4d \right) f_1 f_2 = 13\,157 \text{ ore}.$$

$k_0 = 10$, din tabelul 8.3,

$f_1, f_2 = 1$, din tabelele 8.4, 8.5.

Utilizând diagrama din figura 8.1 pentru reungerea rulmentului, se obține valoarea de 13 500 ore.

Cantitatea de unsoare necesară pentru completare se poate determina cu relația:

$$G = K D B, g,$$

unde:

G = cantitatea de unsoare, g,

K = coeficient în funcție de intervalul de reungere, tabelul 8.6,

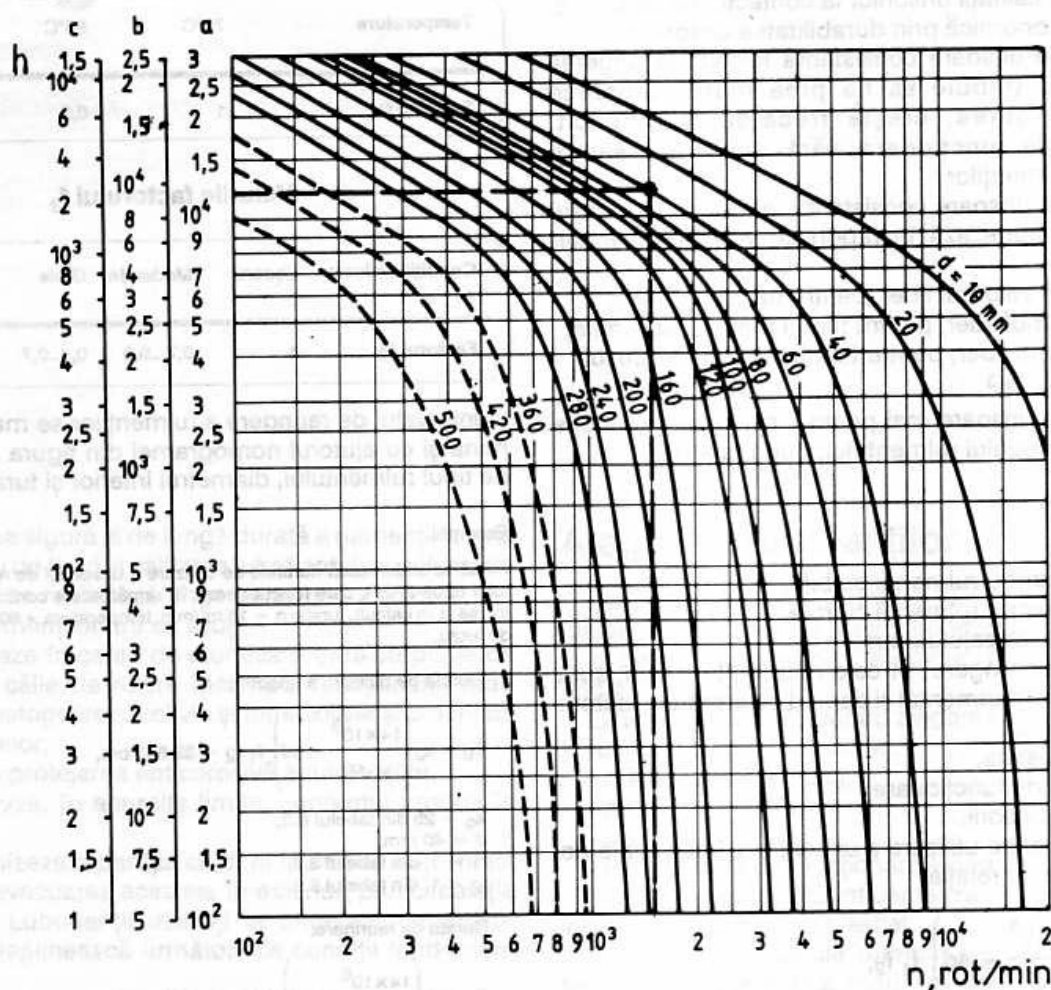
D = diametrul exterior al rulmentului, mm,

B = lățimea pentru rulmenți radiali, mm, și înălțimea H pentru rulmenți axiali, mm.

Valoarea coeficientului K

Tabelul 8.6

Interval de reungere	K
săptămânal	0,0015...0,0020
lunar	0,0020...0,0030
anual	0,0030...0,0045
la 2...3 ani	0,0045...0,0055



Scara a: rulmenți radiali cu bile
 Scara b: rulmenți radiali cu role cilindrice și ace
 Scara c: rulmenți oscilanți cu role, rulmenți cu role conice, rulmenți axiali cu bile, role și ace, rulmenți cu role cilindrice și ace fără colivie, rulmenți cu role în cruce și rulmenți axiali oscilanți cu role.

Fig. 8.1

Valorile rezultate din nomograma 8.1 sunt valabile numai pentru temperatura de funcționare ce nu depășește +70°C. Pentru temperaturi de funcționare ce depășesc +70°C, vezi tabelul 8.4.

Durata de utilizare (durabilitatea) a unsorii se poate defini ca timpul în care aceasta își păstrează caracteristicile fizico-mecanice, fără să apară fenomenul de oxidare, datorită temperaturii și de evaporare a uleiului de bază din conținutul acesteia.

Un calcul mai precis al duratei de utilizare a unsorii, ținând cont de calitatea acesteia și de regimul de funcționare a rulmentului (încărcare, dimensiuni, turație, temperatura etc.), se poate face cu relația:

$$L = 10^{a - (m_1 + m_2 + m_3)}$$

unde:

L = durata de utilizare, ore,

a = exponent în funcție de calitatea unsorii (a = 5,8...6,1),

m_1, m_2, m_3 = exponenți care țin cont de următorii factori:

$$m_1 = 4,4 \times 10^{-6} D_m n,$$

$$m_2 = 2,5 (P/C_r - 0,05),$$

$$m_3 = (0,021 - 1,80 \times 10^{-6} D_m n)t,$$

D_m = diametrul mediu al rulmentului, mm,

n = turația rulmentului, rot/min,

P = sarcina dinamică echivalentă, kN,

C = sarcina dinamică de bază a rulmentului, kN,

t = temperatura de funcționare a rulmentului, °C.

La calcularea valorilor pentru t , $D_m n$ și pentru P/C se vor avea în vedere următoarele:

- dacă temperatura rulmentului este mai mică de +50°C, se ia $t = 50$,

- dacă factorul de viteză $D_m n < 125\,000$, se ia $D_m n = 125\,000$;

- dacă raportul $P/C < 0,05$, se ia $P/C = 0,05$.

Durabilitatea unsorii, în funcție de temperatura de funcționare, se poate stabili în mod orientativ și din diagrama din figura 8.2.

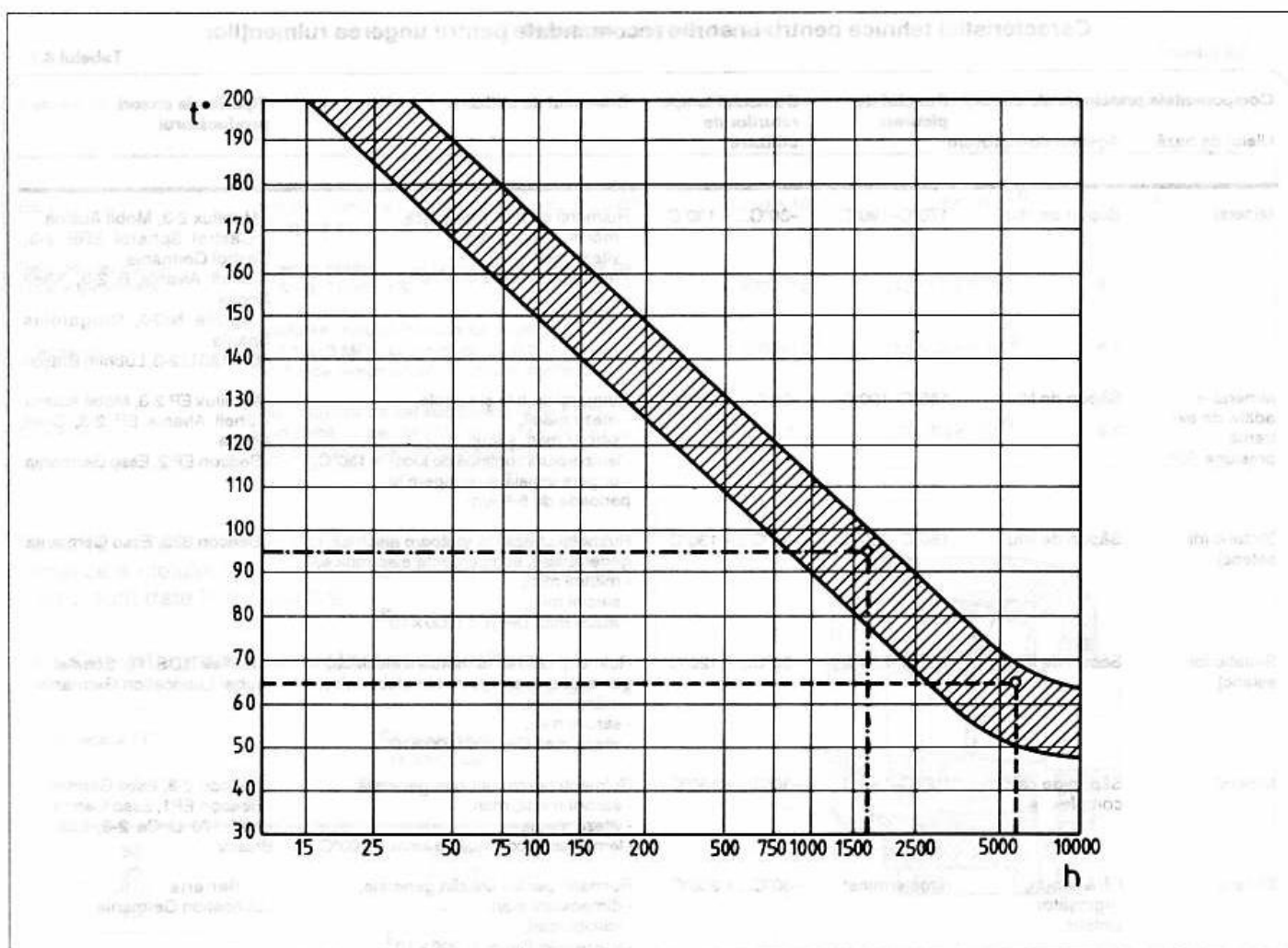


Fig.8.2

Exemplul 1

Să se determine durabilitatea unsoarei utilizate pentru ungerea rulmentului 6210, care funcționează în următoarele condiții: sarcina de încărcare $P_r = 5 \text{ kN}$, turația $n = 3000 \text{ rot/min}$ și temperatura de funcționare $t = 50^\circ\text{C}$.

$C_r = 35 \text{ kN}$, tabelele din pag. 132, rulment 6210,

$$L = 10^{a - (m_1 + m_2 + m_3)} = 10^{6,1 - 2,273} = 10^{3,827} = 6714 \text{ ore},$$

$a = 6,1$, pentru unsoare Mobilgrease 28,

$$D_m n = 70 \times 3000 = 210 \times 10^3,$$

$$P_r / C_r = 5/35 = 0,143,$$

$$m_1 = 4,4 \times 10^{-6} D_m n = 0,924,$$

$$m_2 = 2,59 P_r / C_r - 0,05 = 0,23,$$

$$m_3 = (0,021 - 1,8 \times 10^{-8} D_m n)^{65} = 1,119,$$

$$m_1 + m_2 + m_3 = 2,273.$$

Exemplul 2

Să se determine durabilitatea aceleiași unsoari pentru același rulment și aceleiași condiții de funcționare ca la exemplul 1, cu excepția temperaturii, care este $T = 95^\circ\text{C}$.

$$m_3 = 1,64,$$

$$m_1 + m_2 + m_3 = 2,794,$$

$$L = 10^{6,1 - 2,794} = 10^{3,306} = 2023 \text{ ore}.$$

Din diagrama din fig. 8.2 se obține aproximativ aceeași valoare, respectiv 300 ore, pentru $+65^\circ\text{C}$ și 1700 ore, pentru $+95^\circ\text{C}$.

În tabelul 8.7. sunt date caracteristicile tehnice pentru unsoarele uzuale recomandate pentru ungerea rulmenților etanșați și protejați de tipul 2RS și 2Z, precum și a lagărelor cu rulmenți utilizați la diferite agregate și mașini.

Caracteristici tehnice pentru unsoarele recomandate pentru ungerea rulmenților

Tabelul 8.7

Componentele principale ale unsoarilor		Punctul de picurare	Domeniul temperaturilor de utilizare	Domeniul de utilizare	Tipurile de unsoari, producătorul
Uleiul de bază	Agentul de îngroșare				
Mineral	Săpun de litiu	170°C–190°C	–30°C... + 130°C	Rulmenți cu bile, role și ace, - mărimi mici și medii, - viteze medii, - temperaturi până la + 70°C.	- Mobilux 2-3, Mobil Austria - Castrol Spherol SRB 2-3, Castrol Germania - Shell Alvania R 2-3, Shell Anglia - Aguilta Nr30, Brugarolas Spania - UM 185 Li 2-3, Lubrifer Brașov
Mineral + aditivi de extremă presiune (EP)	Săpun de litiu	185°C–190°C	–30°C... + 150°C	Rulmenți cu bile și cu role, - viteze medii, - sarcini mari, șocuri. - temperatură continuă de lucru + 130°C, - ungere inițială și reungere la perioade de 6-9 luni.	- Mobilux EP 2-3, Mobil Austria - Shell Alvania EP 2-3, Shell Anglia - Beacon EP 2, Esso Germania
Sintetic (di-esteric)	Săpun de litiu	180°C–230°C	–30°C... + 130°C	Rulmenți utilizați la motoare electrice, generatoare, echipamente electronice, - mărimi mici, - sarcini mici, - viteze mari $D_m n \leq 1000 \times 10^3$.	- Beacon 325, Esso Germania
Sintetic (di-esteric)	Săpun de litiu	190°C–230°C	–50°C... + 120°C	Rulmenți utilizați la motoare electrice, generatoare, echipamente electronice, - mărimi mici, - sarcini mici, - viteze mari $D_m n \leq 1000 \times 10^3$.	- Izoflex LDS 18 Special A, Klüber Lubrication Germania
Mineral	Săpun de calciu complex	100°C–180°C	–30°C... + 130°C	Rulmenți pentru utilizare generală, - sarcini medii, mari - viteze medii, - temperatură continuă de lucru + 100°C.	- Beacon 2-3, Esso Germania - Beacon EP1, Esso Germania - UM 170 Li Ca 2-3, Lubrifer Brașov
Sintetic	Fără săpun, îngroșător sintetic	nedeterminat	–30°C... + 250°C	Rulmenți pentru utilizări generale, - dimensiuni mari, - sarcini mari, - viteze mici $D_m n < 200 \times 10^3$, - temperatură ridicată.	- Barierta 1S, Klüber Lubrication Germania
Sintetic + aditivi de extremă presiune (EP)	Fără săpun, îngroșător sintetic	265°C	–54°C... + 177°C	Rulmenți axiali oscilanți, axiali cu role etc., rulmenți cu frecări mari, - viteze medii și mari, - temperaturi joase și ridicate.	Mobilgrease 28, Mobil Austria
Sintetic	Fără săpun, îngroșător anorganic	260°C	–50°C... + 177°C	Rulmenți de uz general, - sarcini mici, - viteze mari, - temperaturi joase și ridicate.	- Armingras BT-2, Brugarolas Spania
			–30°C... + 140°C	Rulmenți cu role cilindrice, - viteze medii și mari $D_m n \leq 300 \times 10^3$.	- Statburags NUB12, Klüber Lubrication Germania
			0°C... + 260°C	Rulmenți cu role pentru temperaturi înalte.	- Mobiltemp 1-2, Mobil Austria

Ungerea cu ulei

Ungerea cu ulei se poate utiliza în orice condiții de funcționare a rulmenților, dar, în mod obligatoriu, în cazul în care valoarea produsului $D_m n$ din tabelul 8.2, respectiv $D_m n > 500 \times 10^3$, este depășită pentru unsoare și când în rulment apar temperaturi mai mari, iar uleiul trebuie să preia, pe lângă funcția de ungere, și pe aceea de eliminare a căldurii.

Uleiurile folosite pentru ungerea rulmenților pot fi de natură:

- minerală, utilizate până la temperatura de + 150°C,
- sintetică, utilizate până la temperatura de + 220°C.

Pentru ungerea propriu-zisă a rulmenților sunt necesare cantități foarte mici de lubrifianți, care să ajungă la corpurile de rostogolire.

Sistemele de ungere trebuie să asigure cantitatea de ulei necesară, să împiedice scurgerea de ulei din lagăr și să elimine căldura din rulment, în cazul turațiilor mari.

Sistemele cele mai uzuale de ungere cu ulei sunt date în tabelul 8.8, în funcție de factorul $D_m n$.

Sisteme de ungere cu ulei

Tabelul 8.8

Sisteme de ungere	Condiții de funcționare	Factorul $Dm \cdot n$	Viscozitate ulei la 40°C (m^2/s)	Exemplu fig.
Baie de ulei	Umplerea băii pînă la mijlocul celui mai de jos corp de rostogolire, pentru ax orizontal și 70-80% din lățime pentru ax vertical.	$< 250 \times 10^3$	$(17...300) \times 10^{-6}$	8.3 a), b)
Baie de ulei cu circulație exterioară	Rezervor central, uleiul circulă sub presiune de 1,5 MPa. Turații mari.	$< 600 \times 10^3$	$(45...175) \times 10^{-6}$	8.4
Injectie cu ulei	Injectarea uleiului în zona de lucru sub presiune de 0,1..0,5 MPa, cu un debit de 0,5..10 l/min, în funcție de temperatură. Sarcini și viteze mari	$< 900 \times 10^3$	$(13,5...80) \times 10^{-6}$	8.5
Ceață de ulei	Ulei în curent de aer sub presiune de (0,05..0,5) MPa și un debit de aer de (0,5..4) $m^3/oră$, pentru rulmenți mici și mijlocii. Sarcini și viteze mari.	$< 1200 \times 10^3$	$(10...45) \times 10^{-6}$	8.6

Valorile orientative pentru alegerea viscozității cinematice a uleiului la +40°C, în funcție de temperatura de lucru, sunt date în tabelul 8.9.

Corelația între temperatură și viscozitate

Tabelul 8.9

Temperatura t°C		Viscozitate la 40°C, cSt
peste	pîna la	
-	50	12...60
50	80	37...75,5
80	120	> 75,5
120	150	227

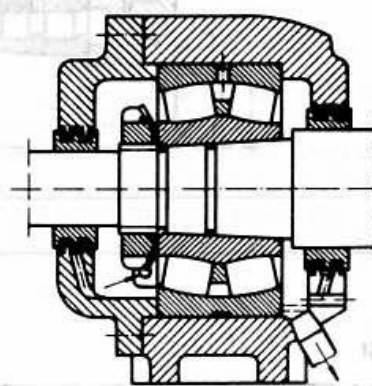


Fig. 8.4

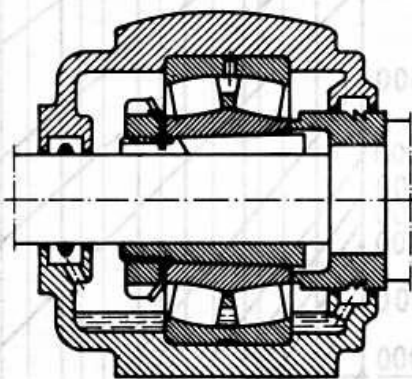


Fig. 8.3

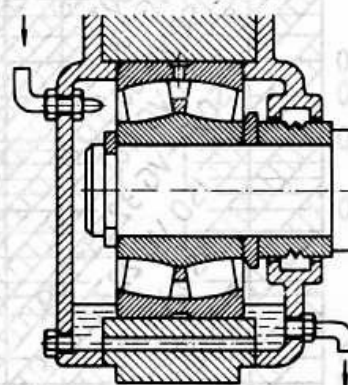


Fig. 8.5

În diagrama din fig. 8.7 sunt date clasele de viscozitate cinematică după normele internaționale (ISO) la 40°C, variația acestora în funcție de temperatura de lucru, corelate cu turația și diametrul mediu al rulmentului.

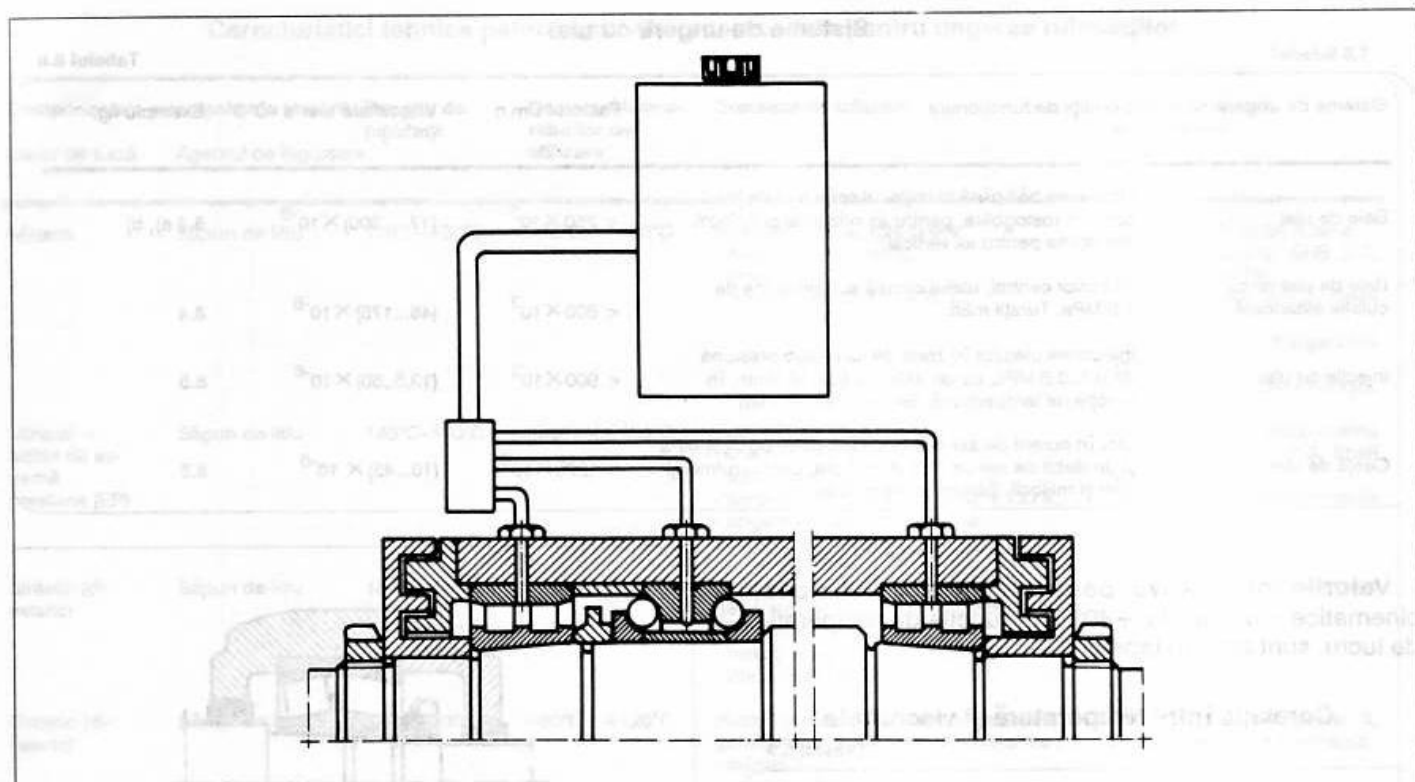


Fig. 8.6

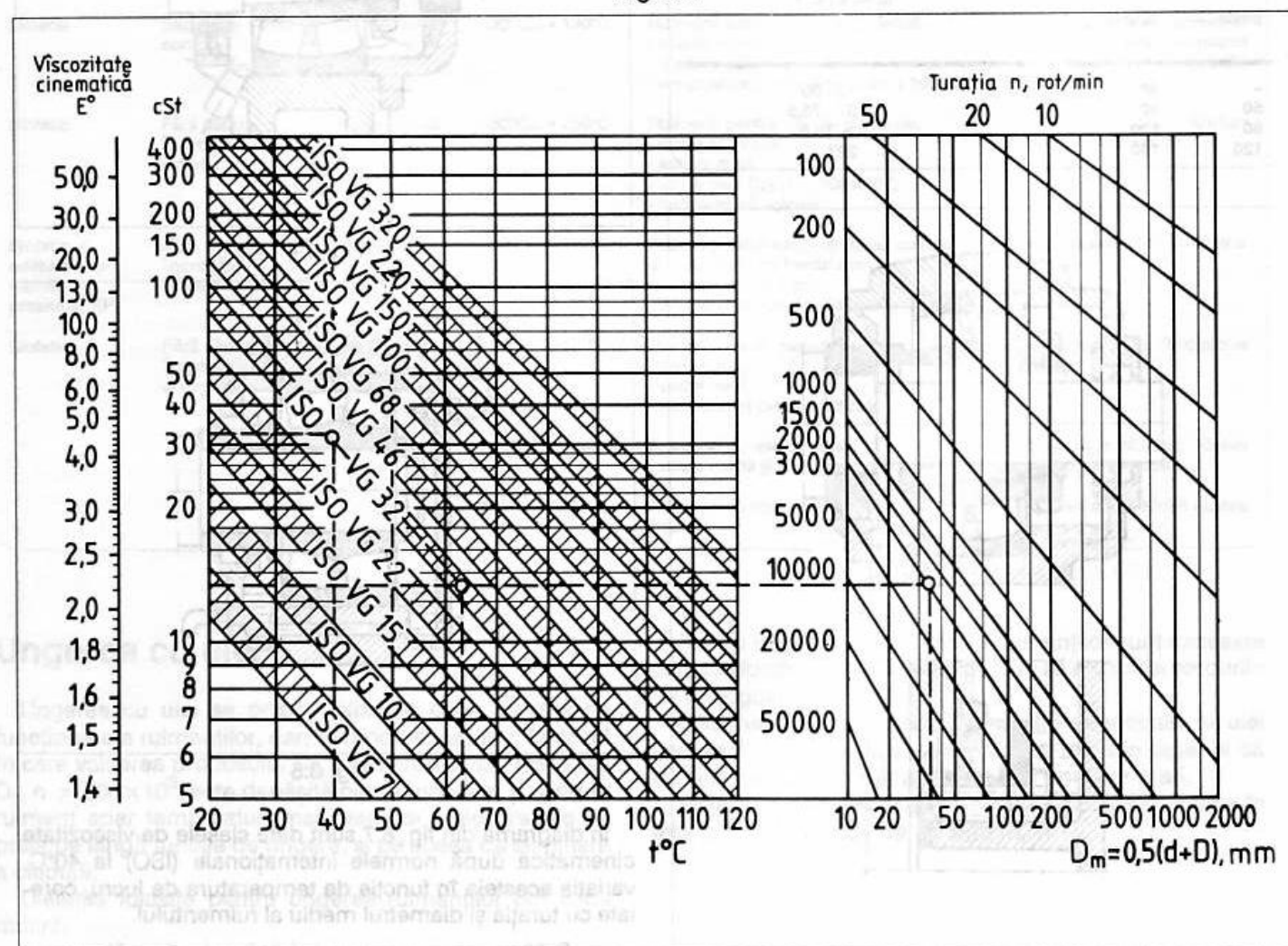


Fig. 8.7

Exemplu

Să se stabilească viscozitatea uleiului necesară pentru ungerea rulmen-
tului 6204, care lucrează în următoarele condiții: turația $n = 3\,000$ rot/min,
temperatura $t = +65^\circ\text{C}$, $D_m = 0,5(d + D) = 35,5$ mm.

Din diagrama din fig. 8.7 pentru un $D_m = 35,5$ mm aflăm viscozitatea la
 $+65^\circ\text{C}$, $\nu_1 = 13$ cSt și viscozitatea la $+40^\circ\text{C}$, $\nu = 32$ cSt.

În tabelul 8.10 sunt date uleiurile recomandate pentru
ungerea rulmenților, după normele internaționale ISO și
viscozitatea cinematică la $+40^\circ\text{C}$.

Uleiuri recomandate după normele ISO

Tabelul 8.10

Clasa ISO	Viscozitate cinematică la $+40^\circ\text{C}$, mm^2/s (cSt)		
	medie	minimă	maximă
ISO VG 2	2,2	1,98	2,42
ISO VG 3	3,2	2,88	3,52
ISO VG 5	4,6	4,14	5,06
ISO VG 7	6,8	6,12	7,48
ISO VG 10	10	9	11
ISO VG 15	15	13,5	16,5
ISO VG 22	22	19,8	24,2
ISO VG 32	32	28,8	35,2
ISO VG 46	46	41,4	50,6
ISO VG 68	68	61,2	74,8
ISO VG 100	100	90	110
ISO VG 150	150	135	165
ISO VG 220	220	198	242
ISO VG 320	320	288	352
ISO VG 460	460	414	506
ISO VG 680	680	612	748
ISO VG 1 000	1 000	900	1 100
ISO VG 1 500	1 500	1 350	1 650