

Hidrosztatikus hajtások, BMEGEVGAG11 Munkafolyadékok

Dr. Hős Csaba, cshos@hds.bme.hu

2017. október 16.

Áttekintés

- 1 **Funkciók**
- 2 **Viszkozitás**
- 3 **Rugalmassági modulusz**
- 4 **Olajtípusok**

A munkafolyadék...

... funkciói

- Energia továbbítása

A munkafolyadék...

... funkciói

- Energia továbbítása
- Egymáson csúszó fémfelületek kenése

A munkafolyadék...

... funkciói

- Energia továbbítása
- Egymáson csúszó fémfelületek kenése
- Hűtés

A munkafolyadék...

... funkciói

- Energia továbbítása
- Egymáson csúszó fémfelületek kenése
- Hűtés
- Tisztítás (→ szűrő)

A munkafolyadék...

... funkciói

- Energia továbbítása
- egymáson csúszó fémfelületek kenése
- Hűtés
- Tisztítás (→ szűrő)

... és az ideális munkafolyadék jellemzői:

- Megfelelő anyagjellemzők széles hőmérséklet tartományban (viszkozitás).

A munkafolyadék...

... funkciói

- Energia továbbítása
- Egymáson csúszó fémfelületek kenése
- Hűtés
- Tisztítás (→ szűrő)

... és az ideális munkafolyadék jellemzői:

- Megfelelő anyagjellemzők széles hőmérséklet tartományban (viszkozitás).
- Nagy viszkozitási index (VI) - KIS változás a viszkozításban a hőmérséklet változás hatására

A munkafolyadék...

... funkciói

- Energia továbbítása
- Egymáson csúszó fémfelületek kenése
- Hűtés
- Tisztítás (→ szűrő)

... és az ideális munkafolyadék jellemzői:

- Megfelelő anyagjellemzők széles hőmérséklet tartományban (viszkózitás).
- Nagy viszkózitási index (VI) - KIS változás a viszkózitásban a hőmérséklet változás hatására
- Alacsony összenyomhatóság (nagy rugalmassági modulusz)

A munkafolyadék...

... funkciói

- Energia továbbítása
- Egymáson csúszó fémfelületek kenése
- Hűtés
- Tisztítás (→ szűrő)

... és az ideális munkafolyadék jellemzői:

- Megfelelő anyagjellemzők széles hőmérséklet tartományban (viszkózitás).
- Nagy viszkózitási index (VI) - KIS változás a viszkózitásban a hőmérséklet változás hatására
- Alacsony összenyomhatóság (nagy rugalmassági modulusz)
- Jó kenőképesség, hővezető képesség és korrózióvédelem

A munkafolyadék...

... funkciói

- Energia továbbítása
- Egymáson csúszó fémfelületek kenése
- Hűtés
- Tisztítás (→ szűrő)

... és az ideális munkafolyadék jellemzői:

- Megfelelő anyagjellemzők széles hőmérséklet tartományban (viszkozitás).
- Nagy viszkozitási index (VI) - KIS változás a viszkozításban a hőmérséklet változás hatására
- Alacsony összenyomhatóság (nagy rugalmassági modulusz)
- Jó kenőképesség, hővezető képesség és korrózióvédelem
- Kémiai stabilitás (időben ill. széles nyomás- és hőmérséklet tartományban)

A munkafolyadék...

... funkciói

- Energia továbbítása
- Egymáson csúszó fémfelületek kenése
- Hűtés
- Tisztítás (→ szűrő)

... és az ideális munkafolyadék jellemzői:

- Megfelelő anyagjellemzők széles hőmérséklet tartományban (viszkozitás).
- Nagy viszkozitási index (VI) - KIS változás a viszkozításban a hőmérséklet változás hatására
- Alacsony összenyomhatóság (nagy rugalmassági modulusz)
- Jó kenőképesség, hővezető képesség és korrózióvédelem
- Kémiai stabilitás (időben ill. széles nyomás- és hőmérséklet tartományban)
- Környezetvédelmi szempontból elfogadható.

A munkafolyadék...

... funkciói

- Energia továbbítása
- Egymáson csúszó felületek kenése
- Hűtés
- Tisztítás (→ szűrő)

... és az ideális munkafolyadék jellemzői:

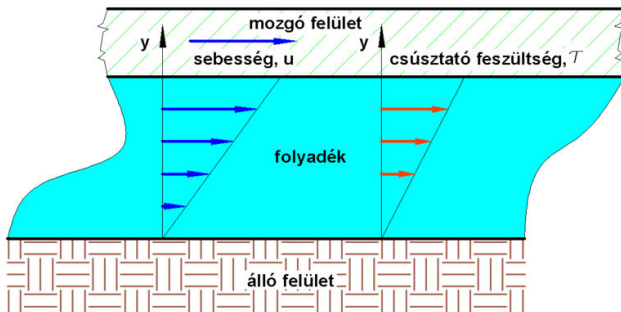
- Megfelelő anyagjellemzők széles hőmérséklet tartományban (viszkozitás).
- Nagy viszkozitási index (VI) - KIS változás a viszkozításban a hőmérséklet változás hatására
- Alacsony összenyomhatóság (nagy rugalmassági modulusz)
- Jó kenőképesség, hővezető képesség és korrózióvédelem
- Kémiai stabilitás (időben ill. széles nyomás- és hőmérséklet tartományban)
- Környezetvédelmi szempontból elfogadható.
- Tűzvédelmi szempontok

Viszkozitás

- A viszkozitás, más elnevezéssel a **belső súrlódás** egy gáz vagy folyadék belső ellenállásának mértéke a csúsztató feszültséggel szemben. Így a víz folyékonyabb, kisebb a viszkozitása, míg az étolaj vagy a méz kevésbé folyékony, nagyobb a viszkozitása.

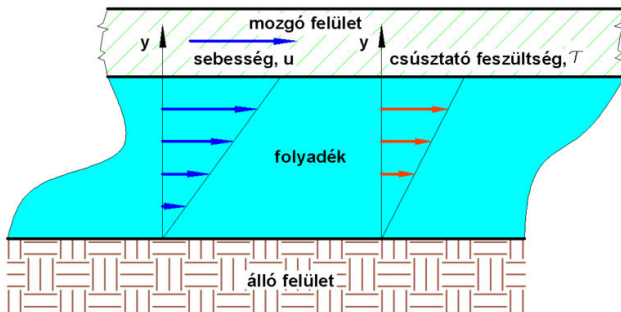
Viszkozitás

- A viszkozitás, más elnevezéssel a **belső súrlódás** egy gáz vagy folyadék belső ellenállásának mértéke a csúsztató feszültséggel szemben. Így a víz folyékonyabb, kisebb a viszkozitása, míg az étolaj vagy a méz kevésbé folyékony, nagyobb a viszkozitása.
- $\tau = \mu \dot{\gamma} = \mu \frac{du}{dy}$, ahol $\tau [N/m^2]$ a csúsztatófeszültség, $\mu [Ns/m^2]$ a dinamikai viszkozitás, $\dot{\gamma}$ a nyírési sebesség (sebességgradiens)



Viszkozitás

- A viszkozitás, más elnevezéssel a **belső súrlódás** egy gáz vagy folyadék belső ellenállásának mértéke a csúsztató feszültséggel szemben. Így a víz folyékonyabb, kisebb a viszkozitása, míg az étolaj vagy a méz kevésbé folyékony, nagyobb a viszkozitása.
- $\tau = \mu \dot{\gamma} = \mu \frac{du}{dy}$, ahol $\tau [N/m^2]$ a csúsztatófeszültség, $\mu [Ns/m^2]$ a dinamikai viszkozitás, $\dot{\gamma}$ a nyírési sebesség (sebességgradiens)
- $\nu = \mu/\rho$ kinematikai viszkozitás, $[m^2/s]$, $[St]$, ahol $1 cSt = 1 mm^2/s$



Viszkotitási index (VI)

- ISO viscosity grade (*nem* a VI): 40°C-on a viszkozitás (pl. ISO VG 100 = 90 ... 110 mm^2/s). Probléma: a viszkozitás jelentősen változik a hőmérséklettel.

Viszkotitási index (VI)

- ISO viscosity grade (*nem* a VI): 40°C -on a viszkozitás (pl. ISO VG 100 = $90 \dots 110 \text{ mm}^2/\text{s}$). Probléma: a viszkozitás jelentősen változik a hőmérséklettel.
- VI: Önkényesen megválasztott mérőszám a viszkozitás hőmérsékletfüggésének jelzésére.

Viszkotitási index (VI)

- ISO viscosity grade (*nem* a VI): 40°C -on a viszkozitás (pl. ISO VG 100 = $90 \dots 110 \text{ mm}^2/\text{s}$). Probléma: a viszkozitás jelentősen változik a hőmérséklettel.
- VI: Önkényesen megválasztott mérőszám a viszkozitás hőmérsékletfüggésének jelzésére.
- $VI = 100 \frac{L-U}{L-H}$, ahol $U = \nu(40^{\circ}\text{C})$

Viszkotitási index (VI)

- ISO viscosity grade (*nem* a VI): 40°C -on a viszkozitás (pl. ISO VG 100 = $90 \dots 110 \text{ mm}^2/\text{s}$). Probléma: a viszkozitás jelentősen változik a hőmérséklettel.
- VI: Önkényesen megválasztott mérőszám a viszkozitás hőmérsékletfüggésének jelzésére.
- $VI = 100 \frac{L-U}{L-H}$, ahol $U = \nu(40^{\circ}\text{C})$
- L: a 40°C -on mért kinematikai viszkozitása egy olyan olajnak, melynek 0 a VI-e, de 100°C -on ugyanannyi a kin. viszk.-a, mint a vizsgált olajnak.

Viszkotitási index (VI)

- ISO viscosity grade (*nem* a VI): 40°C -on a viszkozitás (pl. ISO VG 100 = 90 ... 110 mm^2/s). Probléma: a viszkozitás jelentősen változik a hőmérséklettel.
- VI: Önkényesen megválasztott mérőszám a viszkozitás hőmérsékletfüggésének jelzésére.
- $VI = 100 \frac{L-U}{L-H}$, ahol $U = \nu(40^{\circ}\text{C})$
- L: a 40°C -on mért kinematikai viszkozitása egy olyan olajnak, melynek 0 a VI-e, de 100°C -on ugyanannyi a kin. viszk.-a, mint a vizsgált olajnak.
- H: a 40°C -on mért kinematikai viszkozitása egy olyan olajnak, melynek 100 a VI-e, de 100°C -on ugyanannyi a kin. viszk.-a, mint a vizsgált olajnak.

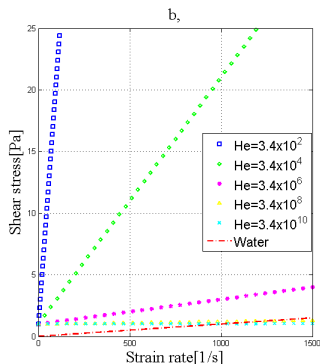
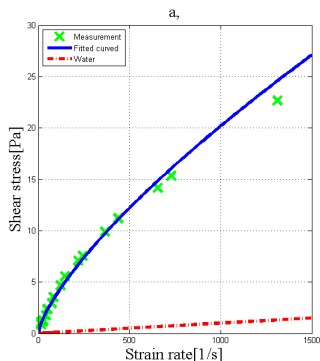
Viszkotitási index (VI)

- ISO viscosity grade (*nem* a VI): 40°C -on a viszkozitás (pl. ISO VG 100 = $90 \dots 110 \text{ mm}^2/\text{s}$). Probléma: a viszkozitás jelentősen változik a hőmérséklettel.
- VI: Önkényesen megválasztott mérőszám a viszkozitás hőmérsékletfüggésének jelzésére.
- $VI = 100 \frac{L-U}{L-H}$, ahol $U = \nu(40^{\circ}\text{C})$
- L: a 40°C -on mért kinematikai viszkozitása egy olyan olajnak, melynek 0 a VI-e, de 100°C -on ugyanannyi a kin. viszk.-a, mint a vizsgált olajnak.
- H: a 40°C -on mért kinematikai viszkozitása egy olyan olajnak, melynek 100 a VI-e, de 100°C -on ugyanannyi a kin. viszk.-a, mint a vizsgált olajnak.

VI	< 35	35 ... 80	80 ... 110	110 <
besorolás	alacsony	közepes	magas	nagyon magas

Newtoni és nemnewtoni folyadékok

- Newtoni: $\tau = \mu \dot{\gamma}$
- Bingham: $\dot{\gamma} = (\tau - \tau_0)/\mu$ ha $\tau > \tau_0$, különben $\dot{\gamma} = 0$ (pl. majonéz)
- Power-law: $\tau = \mu(\dot{\gamma})^n$ (pl. hajszelé)



Milyen az optimális viszkozitás?

Két, egymásnak ellentmondó szempont:
volumetrikus veszteség \leftrightarrow nyomásesés

Milyen az optimális viszkozitás?

Két, egymásnak ellentmondó szempont:

volumetrikus veszteség \leftrightarrow nyomásesés

- Nagyon magas viszkozitás ($\nu > 2000 \text{ mm}^2/\text{s}$): kavitáció

Milyen az optimális viszkozitás?

Két, egymásnak ellentmondó szempont:

volumetrikus veszteség \leftrightarrow nyomásesés

- Nagyon magas viszkozitás ($\nu > 2000 \text{ mm}^2/\text{s}$): kavitáció
- Magas viszkozitás ($\nu > 100 \text{ mm}^2/\text{s}$): nagy nyomásesés, kis volumetrikus veszteség

Milyen az optimális viszkozitás?

Két, egymásnak ellentmondó szempont:

volumetrikus veszteség \leftrightarrow nyomásesés

- Nagyon magas viszkozitás ($\nu > 2000 \text{ mm}^2/\text{s}$): kavitáció
- Magas viszkozitás ($\nu > 100 \text{ mm}^2/\text{s}$): nagy nyomásesés, kis volumetrikus veszteség
- Kis viszkozitás ($\nu < 20 \text{ mm}^2/\text{s}$): kis nyomásesés, nagy volumetrikus veszteség

Milyen az optimális viszkozitás?

Két, egymásnak ellentmondó szempont:

volumetrikus veszteség \leftrightarrow nyomásesés

- Nagyon magas viszkozitás ($\nu > 2000 \text{ mm}^2/\text{s}$): kavitáció
- Magas viszkozitás ($\nu > 100 \text{ mm}^2/\text{s}$): nagy nyomásesés, kis volumetrikus veszteség
- Kis viszkozitás ($\nu < 20 \text{ mm}^2/\text{s}$): kis nyomásesés, nagy volumetrikus veszteség
- Nagyon kis viszkozitás ($\nu < 5 \text{ mm}^2/\text{s}$): nincs megfelelő kenés

Milyen az optimális viszkozitás?

Két, egymásnak ellentmondó szempont:

volumetrikus veszteség \leftrightarrow nyomásesés

- Nagyon magas viszkozitás ($\nu > 2000 \text{ mm}^2/\text{s}$): kavitáció
- Magas viszkozitás ($\nu > 100 \text{ mm}^2/\text{s}$): nagy nyomásesés, kis volumetrikus veszteség
- Kis viszkozitás ($\nu < 20 \text{ mm}^2/\text{s}$): kis nyomásesés, nagy volumetrikus veszteség
- Nagyon kis viszkozitás ($\nu < 5 \text{ mm}^2/\text{s}$): nincs megfelelő kenés
- **Optimális tartomány: kb. $20 \text{ mm}^2/\text{s} < \nu < 50 \text{ mm}^2/\text{s}$**

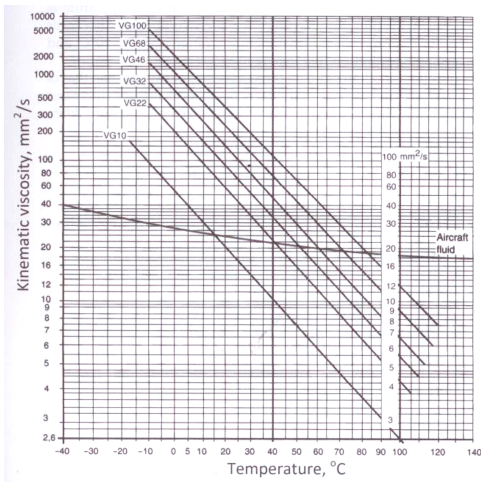
Milyen az optimális viszkozitás?

Két, egymásnak ellentmondó szempont:

volumetrikus veszteség \leftrightarrow nyomásesés

- Nagyon magas viszkozitás ($\nu > 2000 \text{ mm}^2/\text{s}$): kavitáció
- Magas viszkozitás ($\nu > 100 \text{ mm}^2/\text{s}$): nagy nyomásesés, kis volumetrikus veszteség
- Kis viszkozitás ($\nu < 20 \text{ mm}^2/\text{s}$): kis nyomásesés, nagy volumetrikus veszteség
- Nagyon kis viszkozitás ($\nu < 5 \text{ mm}^2/\text{s}$): nincs megfelelő kenés
- **Optimális tartomány: kb. $20 \text{ mm}^2/\text{s} < \nu < 50 \text{ mm}^2/\text{s}$**
(méz: $74 \text{ mm}^2/\text{s}$, víz: $1 \text{ mm}^2/\text{s}$, levegő: $16 \text{ mm}^2/\text{s}$)

A viszkozitás hőmérsékletfüggése



A gép működése közben (hidegindítástól üzemi hőmérsékletig) akár egy nagyságrendet is változhat!

Rugalmassági modulusz

- Jelölés: E vagy B [Pa] (bulk modulus)

Rugalmassági modulusz

- Jelölés: E vagy B [Pa] (bulk modulus)
- $\Delta p/E = -\Delta V/V$ (gázokra: $E = -\rho_0 \frac{dp}{d\rho}$, $E_{izoterm} = \rho$, $E_{izentrop} = \kappa p$)

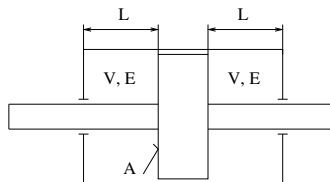
Rugalmassági modulusz

- Jelölés: E vagy B [Pa] (bulk modulus)
- $\Delta p/E = -\Delta V/V$ (gázokra: $E = -\rho_0 \frac{dp}{d\rho}$, $E_{izoterm} = p$, $E_{izentrop} = \kappa p$)
- Hullámsebesség: $a = \sqrt{E/\rho}$ (gázokra: $a = \sqrt{\kappa RT}$)

Rugalmassági modulusz

- Jelölés: E vagy B [Pa] (bulk modulus)
- $\Delta p/E = -\Delta V/V$ (gázokra: $E = -\rho_0 \frac{dp}{d\rho}$, $E_{izoterm} = p$, $E_{izentrop} = \kappa p$)
- Hullámsebesség: $a = \sqrt{E/\rho}$ (gázokra: $a = \sqrt{\kappa RT}$)
- Meghatározza a rendszer sajátfrekvenciáját: pl. munkahengerre

$$\Delta F = 2A\Delta p = 2AE \frac{\Delta V}{V} = 2AE \frac{\Delta x}{L} \rightarrow s = 2EA/L$$



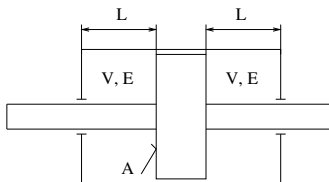
Rugalmassági modulusz

- Jelölés: E vagy B [Pa] (bulk modulus)
- $\Delta p/E = -\Delta V/V$ (gázokra: $E = -\rho_0 \frac{dp}{d\rho}$, $E_{izoterm} = p$, $E_{izentrop} = \kappa p$)
- Hullámsebesség: $a = \sqrt{E/\rho}$ (gázokra: $a = \sqrt{\kappa RT}$)
- Meghatározza a rendszer sajátfrekvenciáját: pl. munkahengerre

$$\Delta F = 2A\Delta p = 2AE \frac{\Delta V}{V} = 2AE \frac{\Delta x}{L} \rightarrow s = 2EA/L$$

- Példa: $D/d = 50/32\text{mm}$, $L = 0.3\text{m}$, $E = 1.5\text{GPa}$ (Shell Tellus 32), $m = 1\text{t}$

$$s = 2E \frac{A}{L} = 11.6\text{kN/mm} \quad \omega = \sqrt{s/m} = 107.67\text{rad/s} \quad f = 17\text{Hz}$$



Rugalmassági modulusz

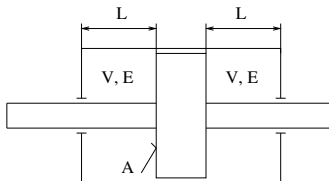
- Jelölés: E vagy B [Pa] (bulk modulus)
- $\Delta p/E = -\Delta V/V$ (gázokra: $E = -\rho_0 \frac{dp}{d\rho}$, $E_{izoterm} = p$, $E_{izentrop} = \kappa p$)
- Hullámsebesség: $a = \sqrt{E/\rho}$ (gázokra: $a = \sqrt{\kappa RT}$)
- Meghatározza a rendszer sajátfrekvenciáját: pl. munkahengerre

$$\Delta F = 2A\Delta p = 2AE \frac{\Delta V}{V} = 2AE \frac{\Delta x}{L} \rightarrow s = 2EA/L$$

- Példa: $D/d = 50/32\text{mm}$, $L = 0.3\text{m}$, $E = 1.5\text{GPa}$ (Shell Tellus 32), $m = 1\text{t}$

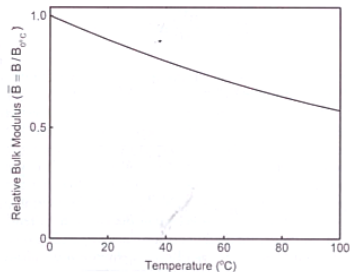
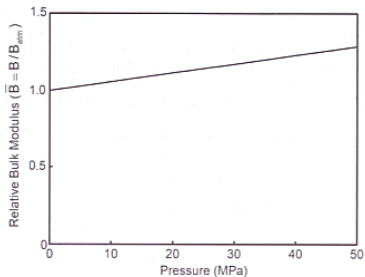
$$s = 2E \frac{A}{L} = 11.6\text{kN/mm} \quad \omega = \sqrt{s/m} = 107.67\text{rad/s} \quad f = 17\text{Hz}$$

- Tipikus értékek: ásványi olajok: 1.5 GPa, víz: 2.15 GPa, acél: 200 GPa

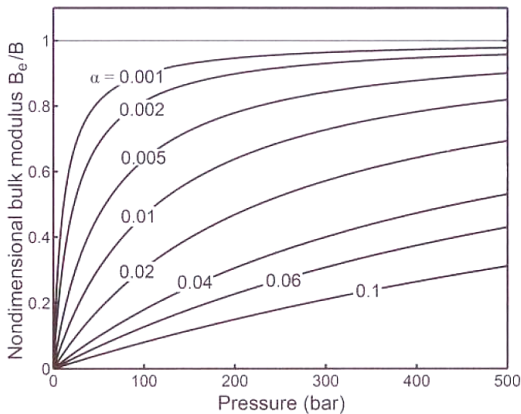


E(p) és E(T)

Mind a nyomás, mind a hőmérséklet változásával kis mértékben változik a rugalmassági modulusz.



Levegőtartalom hatása - jelentős



... ezért kerüli kell a habképződést!

Olajtípusok

Ásványi olajok

- Legjobban elterjedt (k. 90%)

Olajtípusok

Ásványi olajok

- Legjobban elterjedt (k. 90%)
- Relatív olcsó, könnyen elérhető

Olajtípusok

Ásványi olajok

- Legjobban elterjedt (k. 90%)
- Relatív olcsó, könnyen elérhető
- Jó kenőképeség, nem korrozív, kompatibilis a legtöbb tömítőanyaggal

Olajtípusok

Ásványi olajok

- Legjobban elterjedt (k. 90%)
- Relatív olcsó, könnyen elérhető
- Jó kenőkéesség, nem korrozív, kompatibilis a legtöbb tömítőanyaggal
- Kémiaailag stabilak a (hidraulikában) szokásos hőmérséklettartományban, de magas hőmérsékleten gyorsan tönkremennek

Olajtípusok

Ásványi olajok

- Legjobban elterjedt (k. 90%)
- Relatív olcsó, könnyen elérhető
- Jó kenőkéesség, nem korrozív, kompatibilis a legtöbb tömítőanyaggal
- Kémiailag stabilak a (hidraulikában) szokásos hőmérséklettartományban, de magas hőmérsékleten gyorsan tönkremennek
- Két legnagyobb hátrány: (a) tűzveszélyes és (b) a viszkozitás jelentősen nő nagy nyomásokon

Olajtípusok

Ásványi olajok

- Legjobban elterjedt (k. 90%)
- Relatív olcsó, könnyen elérhető
- Jó kenőképesség, nem korrozív, kompatibilis a legtöbb tömítőanyaggal
- Kémiaileg stabilak a (hidraulikában) szokásos hőmérséklettartományban, de magas hőmérsékleten gyorsan tönkremennek
- Két legnagyobb hátrány: (a) tűzveszélyes és (b) a viszkozitás jelentősen nő nagy nyomásokon
- Tipikus anyagjellemzők:
 - $\nu = 27 \text{ mm}^2/\text{s}$ 40°C és $\nu = 4.8 \text{ mm}^2/\text{s}$ 100°C
 - $\rho = 870 \text{ kg}/\text{m}^3$
 - Olvadáspont/forráspont/lobbanáspont:
 $-18^\circ\text{C}/370^\circ\text{C}/210^\circ\text{C}$
 - Telített gőznyomás 100°C : 30 Pa (abszolút)

Olajtípusok

Ásványi olajok - adalékok

- Oxidáció gátlása (az oxigénnel érintkező olajban oldhatatlan, mézgaszerű anyagok képződnek, amik eltömítik a réseket)

Olajtípusok

Ásványi olajok - adalékok

- Oxidáció gátlása (az oxigénnel érintkező olajban oldhatatlan, mézgaszerű anyagok képződnek, amik eltömítik a réseket)
- Korrózió gátlása

Olajtípusok

Ásványi olajok - adalékok

- Oxidáció gátlása (az oxigénnel érintkező olajban oldhatatlan, mézgaszerű anyagok képződnek, amik eltömítik a réseket)
- Korrózió gátlása
- Habképződés akadályozása

Olajtípusok

Ásványi olajok - adalékok

- Oxidáció gátlása (az oxigénnel érintkező olajban oldhatatlan, mézgaszerű anyagok képződnek, amik eltömítik a réseket)
- Korrózió gátlása
- Habképződés akadályozása
- VI javítása

Olajtípusok

Ásványi olajok - adalékok

- Oxidáció gátlása (az oxigénnel érintkező olajban oldhatatlan, mézgaszerű anyagok képződnek, amik eltömítik a réseket)
- Korrózió gátlása
- Habképződés akadályozása
- VI javítása
- Súrlódási tulajdonságok módosítása

Olajtípusok

Ásványi olajok - adalékok

- Oxidáció gátlása (az oxigénnel érintkező olajban oldhatatlan, mézgaszerű anyagok képződnek, amik eltömítik a réseket)
- Korrózió gátlása
- Habképződés akadályozása
- VI javítása
- Súrlódási tulajdonságok módosítása
- Tömítések megdagadásának akadályozása

Olajtípusok

Szintetikus olajok

- Szabályozott, előre ismert minőségazonosság

Olajtípusok

Szintetikus olajok

- Szabályozott, előre ismert minőségazonosság
- Rendkívül jól beállítható anyagjellemzők

Olajtípusok

Szintetikus olajok

- Szabályozott, előre ismert minőségazonosság
- Rendkívül jól beállítható anyagjellemzők
- Jó tűz elleni ellenállóképesség (műanyag öntés, fröccsöntés, bányai par)

Olajtípusok

Szintetikus olajok

- Szabályozott, előre ismert minőségazonosság
- Rendkívül jól beállítható anyagjellemzők
- Jó tűz elleni ellenállóképesség (műanyag öntés, fröccsöntés, bányaipar)
- Biológiaiailag jól lebontható

Olajtípusok

Szintetikus olajok

- Szabályozott, előre ismert minőségazonosság
- Rendkívül jól beállítható anyagjellemzők
- Jó tűz elleni ellenállóképesség (műanyag öntés, fröccsöntés, bányai par)
- Biológiailag jól lebontható
- Kémiai stabilitás nagy hőmérsékleten is

Olajtípusok

Szintetikus olajok

- Szabályozott, előre ismert minőségazonosság
- Rendkívül jól beállítható anyagjellemzők
- Jó tűz elleni ellenállóképesség (műanyag öntés, fröccsöntés, bányai par)
- Biológiailag jól lebontható
- Kémiai stabilitás nagy hőmérsékleten is
- Drága

Olajtípusok

Víz-alapú munkafolyadékok

- Víz+olaj emulziók (2-5%):
 - Előnyök: extrém tűzállóság, nagy rug. mod., jó hűtés
 - Hátrányok: gyenge kenőképesség és alacsony viszkózitás

Olajtípusok

Víz-alapú munkafolyadékok

- Víz+olaj emulziók (2-5%):
 - Előnyök: extrém tűzállóság, nagy rug. mod., jó hűtés
 - Hátrányok: gyenge kenőképesség és alacsony viszkozitás
- Ha a környezetvédelem elsőrendű kérdés (pl. városi mobilgépek), tiszta víz.