

Hydraulické kapaliny versus pryže

Těsnění pro hydrauliku a pneumatiku
10.června 2021

Ing. Pavel Semerák, Saar Gummi Czech s.r.o.
Ing. Jiří Valdauf, LUBRICANT s.r.o.

Obsah

- ✓ Definice
- ✓ Historie pryží
- ✓ Vlastnosti pryže - těsniva
- ✓ Technologie pryže- složení, vulkanizace
- ✓ Odolnost elastomerů – anilínový bod
- ✓ Složení hydraulických kapalin
- ✓ Souhrn
- ✓ Příklad z praxe

GUM

CAOUTCHOUC

Пры́ж=ПРЫГАТЬ

ELASTOMER

RUBBER

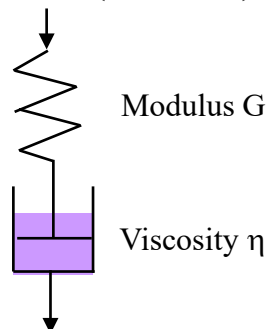
V různých jazycích různé výrazy někdy i „žargon“. Čeština přebrala výraz z ruštiny!

Kaučuky jsou organické látky přírodní nebo syntetické povahy s viskoelastickými vlastnostmi s převahou vlastností viskozitních. Kaučuky umožňují tvorbu trojrozměrné sítě pomocí vulkanizace-vytvrzování za vzniku pryží s převahou elastických vlastností nad viskózními.

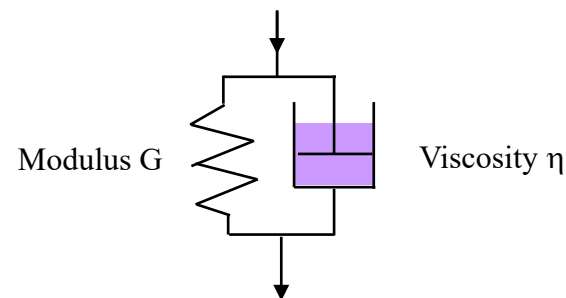
Pryže mívají tažnost $>100\%$, mají „gumovou“ paměť.

Viskoelasticitu je možno popsat dvěma modely, kde pružina znázorňuje elasticitu, píst viskozitu

Relaxation (Maxwell)



Creep (Kelvin-Voigt)



Historie pryží

- 1) „Matka“ všech polymerů přírodní kaučuk NR, objeven kolem roku 1750
- 2) 1820 - objev vulkanizace - Goodyear
- 3) 1895 - první pneumatika
- 4) 1920 – SBR syntetický kaučuk, náhrada NR
- 5) 1936 – chloropren CR
- 6) 1943 – butyl kaučuk IIR
- 7) 1945 – silikonový kaučuk MVQ
- 8) 1956 – fluorkaučuk FC
- 9) 1963 – etylén-propylénový kaučuk EP(D)M
- 10) Termoplastické elastomery (vlastně elastomery zpracováváné plastikářskou technologií)

Nejdůležitější vlastnosti pryže pro
jejich použití jako těsniva

- Polárnost kaučuku
- Struktura polymerů
- Trvalá deformace

Polárnost kaučuku

Polárnost = v polymeru je přítomen jiný atom než uhlík a vodík, takže molekula polymeru, i když je celkově elektricky neutrální, má kladně a záporně nabitě části, a tím se elektricky jeví jako dipól, se všemi průvodními vlastnostmi.

Polárnost je způsobena jinou (většinou větší) elektronegativitou „jiného atomu“ než je elektronegativita uhlíku či vodíku. Vazba(elektronový pár) mezi uhlíky nebo uhlíkem a vodíkem je uprostřed, vazba mezi uhlíkem a „jiným atomem“ je posunuta většinou k „jinému atomu“ a tím je „jiný atom“ nabit záporně.

Polárnost kaučuku

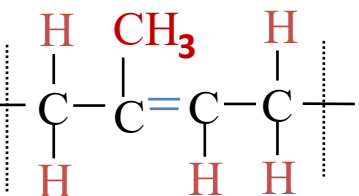
Navenek se látky polární a nepolární liší svojí vzájemnou mísitelností.

Polární látky se mísí s polárními (voda + alkohol) a nepolární s nepolárními (olej + benzin).

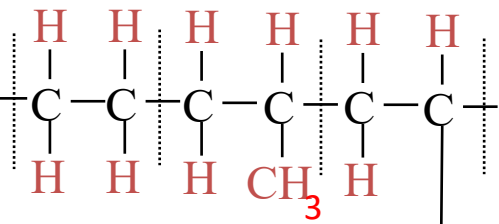
Této skutečnosti se využívá:

- Při sestavování kaučukových směsí. Do polymerů se musí dávkovat kvůli kompatibilitě odpovídající olej, aby se z vyrobené pryže „nevypocoval“.
- Daná pryž se pak používá vždy do polárně opačného prostředí než jakou polárnost má ona.

Struktura polymerů

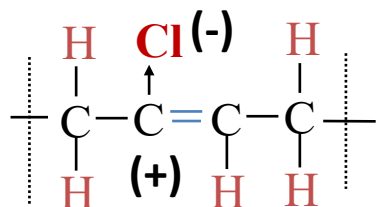


isoprén

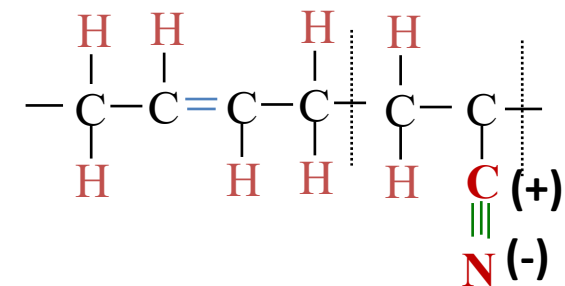


Etylén – propylén - dien

norbornén =vazba



chloroprén



Butadien - akrylonitril

Přírodní kaučuk (NR)

Nepolární nemá „jiný atom“
nenasycený řetězec,

Etylén propylénový kaučuk: (EPDM)

Nepolární, nemá „jiný“ atom
Nasycený řetězec,

Polychloroprene (CR)

Polární kvůli Cl atomu
nenasycený řetězec,

Butadien akrylonitril (NBR)

Polární kvůli CN skupině
Nenasycený řetězec

Struktura polymerů

Chemická „mikro“ struktura polymeru předurčuje „makro“ vlastnosti pryže

- „Jiný atom“ způsobuje polaritu polymeru a s tím spojené fyzikální vlastnosti spojené s rozpustností polymeru případně botnání z něho vyrobené pryže v polárních kapalinách a nerozpustnost případně nezvětšování objemu v nepolárních kapalinách. Naopak výskyt v polymeru pouze prvků C a H způsobuje jejich nepolárnost a tím opačné chování v kapalinách.
- Výskyt dvojných vazeb v páteřním řetězci polymeru má rozhodující vliv na stárnutí pryže. Dvojná vazba jako reaktivní část molekuly reaguje přednostně s kyslíkem a ozonem a způsobuje nevratné změny na pryži. Většinou tvrdnutí a ozonové trhliny pokud byl výrobek pod napětím.

Trvalá deformace

Trvalá deformace = procento nevratné deformace při dané teplotě a po určitý čas např. 24h/RT

Co nám TD říká

- jak je pryž zvulkanizovaná
- jak kvalitní z pohledu TD je polymer
- jak kvalitní je vulkanizační systém



$$TD(\%) = \frac{h_0 - h_1}{h_0 - h_s} * 100$$

Jak se měří

h_0 – počáteční výška tělesa

h_1 – výška tělesa po uvolnění

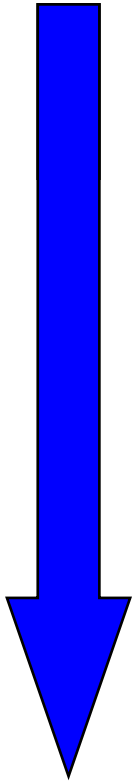
h_s – výška distančních podložek vzorku (výška stlačeného vzorku)

Hodnota resp. nízká hodnota trvalé deformace má velký vliv na použití pryže jako těsniva. Ve skutečnosti je hlavní hodnotou, která ovlivňuje kvalitu těsniva zbytková síla, která tlačí do mezery. Předpokládá se však, že pokud se snižuje výška těsniva, snižuje se také zbytková síla do mezery.

Měli bychom však spíše měřit pokles zbytkové síly, což je však podstatně náročnější na přístrojové vybavení než měření výšky.

Typická gumárenská technologie

Plastická kaučuková směs



- * při běžné teplotě amorfní směs, která je schopna toku a přetvarování
- * zpracování za působení tepla a tlaku, při kterém se výrobku dá tvar lisováním, vytlačováním, nastříkáním
- * vulkanizace (trojrozměrná síť)
při teplotě 150 - 230°C za tlakem
síťování homolyticky (radikálově) - peroxidem
heterolyticky (iontově) – sírou

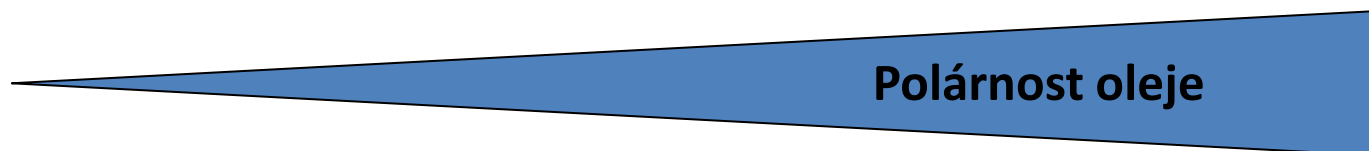
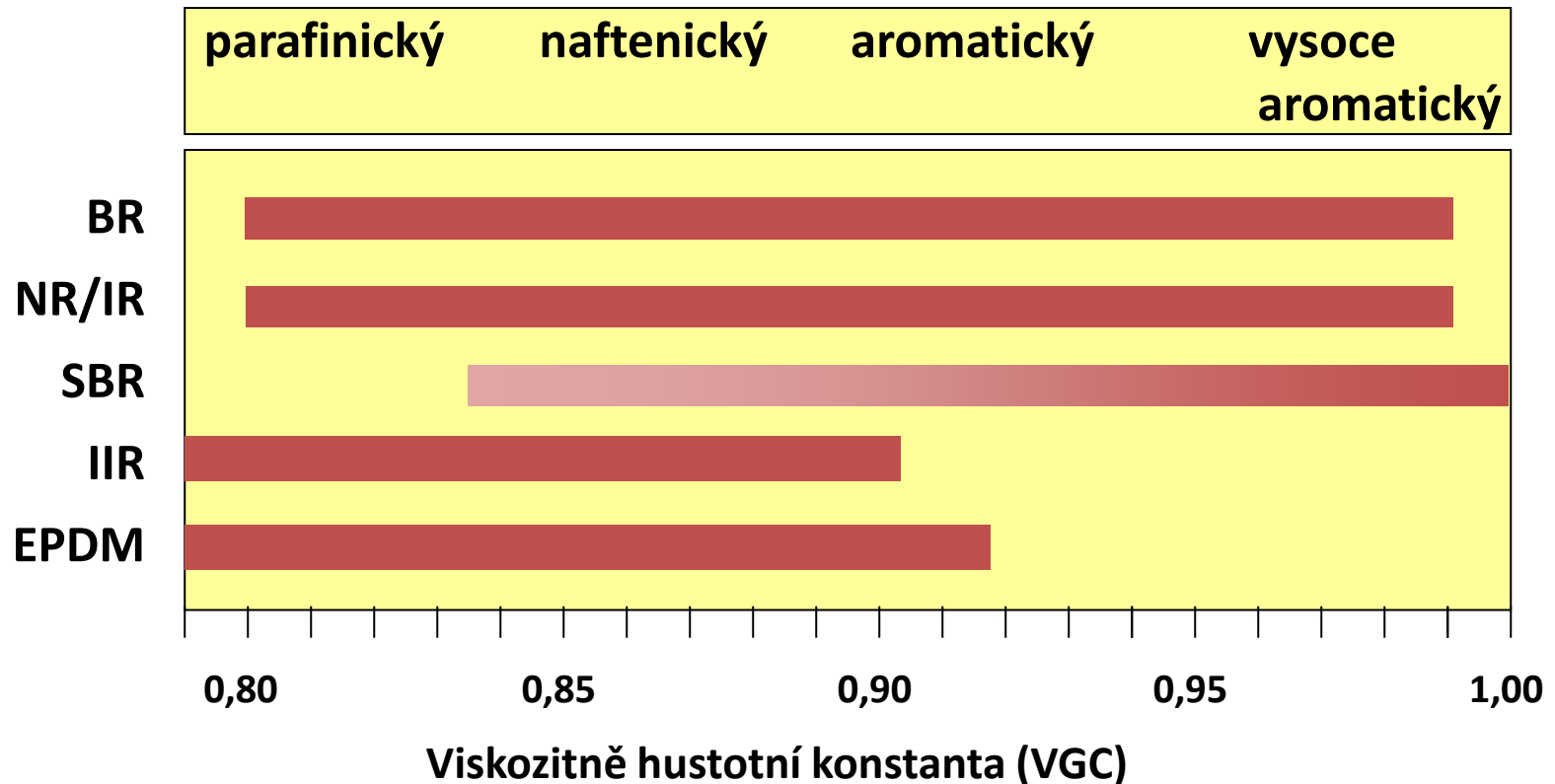
termosetická pryž

Typické složení gumárenské směsi

Co obvykle obsahuje receptura gumárenské směsi

Polymer	->	určuje základní vlastnosti
Antioxidanty, antiozonanty	->	odolnost ke stárnutí
Zpracovatelské prostředky	->	míchání, lisování, extruze
Plniva (saze, bílá)	->	mech. vlastnosti, cena
Plastifikátory (oleje)	->	snižuje cenu, tvrdost, Tg- teplota skelného přechodu
Pigmenty	->	u nesazových nastavení barvy
Vulkanizační činidla	->	třírozměrná síť
Urychlovače	->	rychlost vulkanizace
Aktivátory	->	modifikuje vulkanizaci

Mísitelnost procesních olejů jako
změkčovadel s polymery



Výběr změkčovačů

Typ kaučuku	Změkčovač	Dosace (dsk)
SBR	Aromatický olej, těž naftenický olej	0 - 55
NR	Aromatický olej	0 - 30
BR	Aromatický, parafinický, bílý olej	0 - 50
IR	Aromatický olej	0 - 20
IIR	Parafinický olej	0 - 25
EPM	Parafinický olej	0 - 50
EPDM	Parafinický olej, bílý olej	0 - 100
NBR	Ester, typicky DBF a DOF	0 - 30
MQ	Nepoužívá se, těž silikonový olej	0 - 15
FPM	Nepoužívá se	0

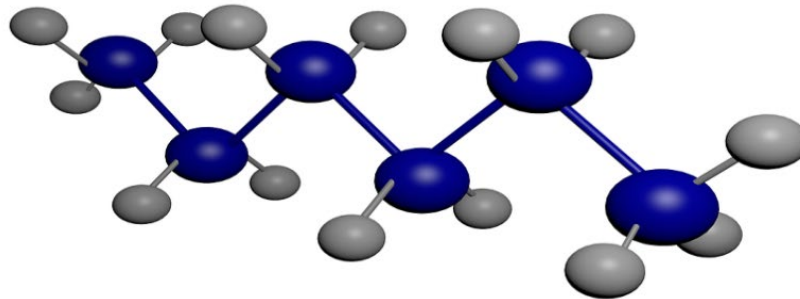
Výběr změkčovadla

- Vliv aromaticity a viskozity oleje na fyzikální vlastnosti SBR

Parametr	Rostoucí aromaticita	Rostoucí viskozita
Viskozita Mooney	nemění se	nemění se
Doba vulkanizace	nemění se	roste
Pevnost v tahu	roste	roste
Tažnost	roste	roste
Modul	klesá	nemění se
Tvrdost	nemění se	nemění se
Pružnost	klesá	klesá
Pevnost v trhu	roste	roste
De-Mattia Crack-Growth	nemění se	roste
Odolnost proti stárnutí	zlepšuje se	zlepšuje se

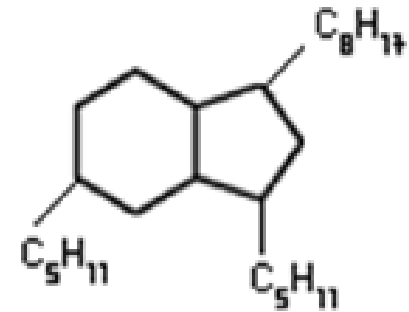
Velikost molekuly

- Strojaři - : $>10^{-6}\text{m}$ (= 1 micron)
- Chemici: $10^{-6}\text{m} - 10^{-10}\text{m}$ (= 1 Angström)
Typická délka vazby C – C = 1,54 Å



Velikost a tvar molekul hydraulického oleje

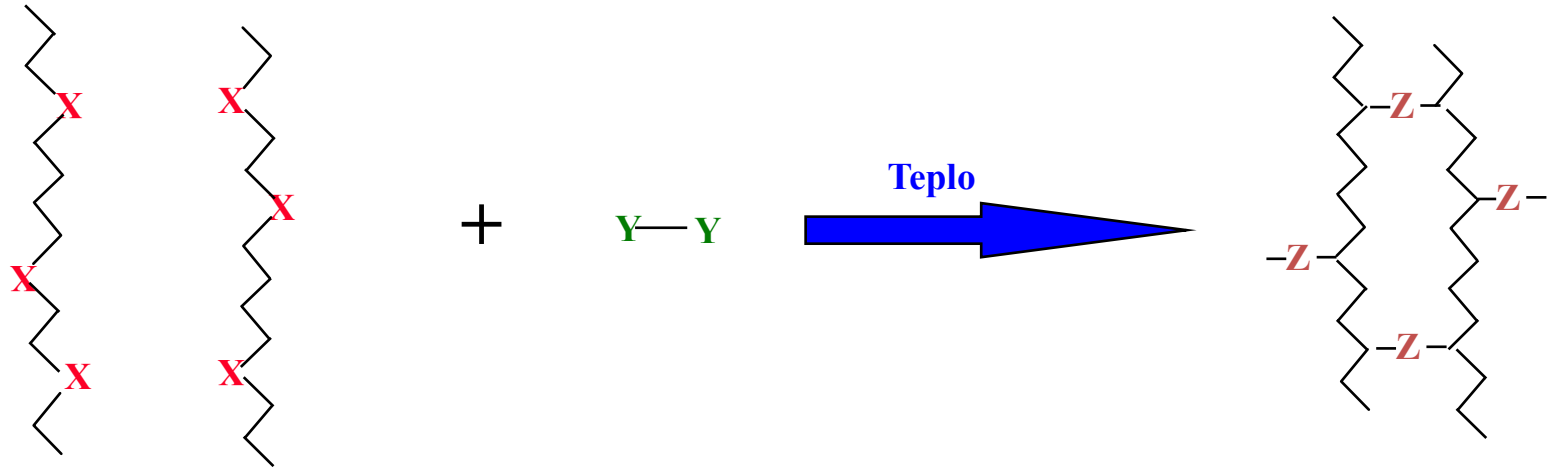
- Základový ropný olej
 - Typová analýza
 - Skupinová analýza
- Typická Molekula: $C_{28}H_{56}$
 - MW = 390,
 - Rozměr molekuly = 1 nm



Charakterizace ropných frakcí

- Skupinová analýza (chromatografické dělení+identifikace), nasycená frakce, aromáty (mono, di, tri, poly), polární látky, např. ASTM D 2007
- Typová analýza (nDM analýza, C_P , C_N , C_A stanovení pomocí FTIR)
- Výsledky se liší

Princip vulkanizace



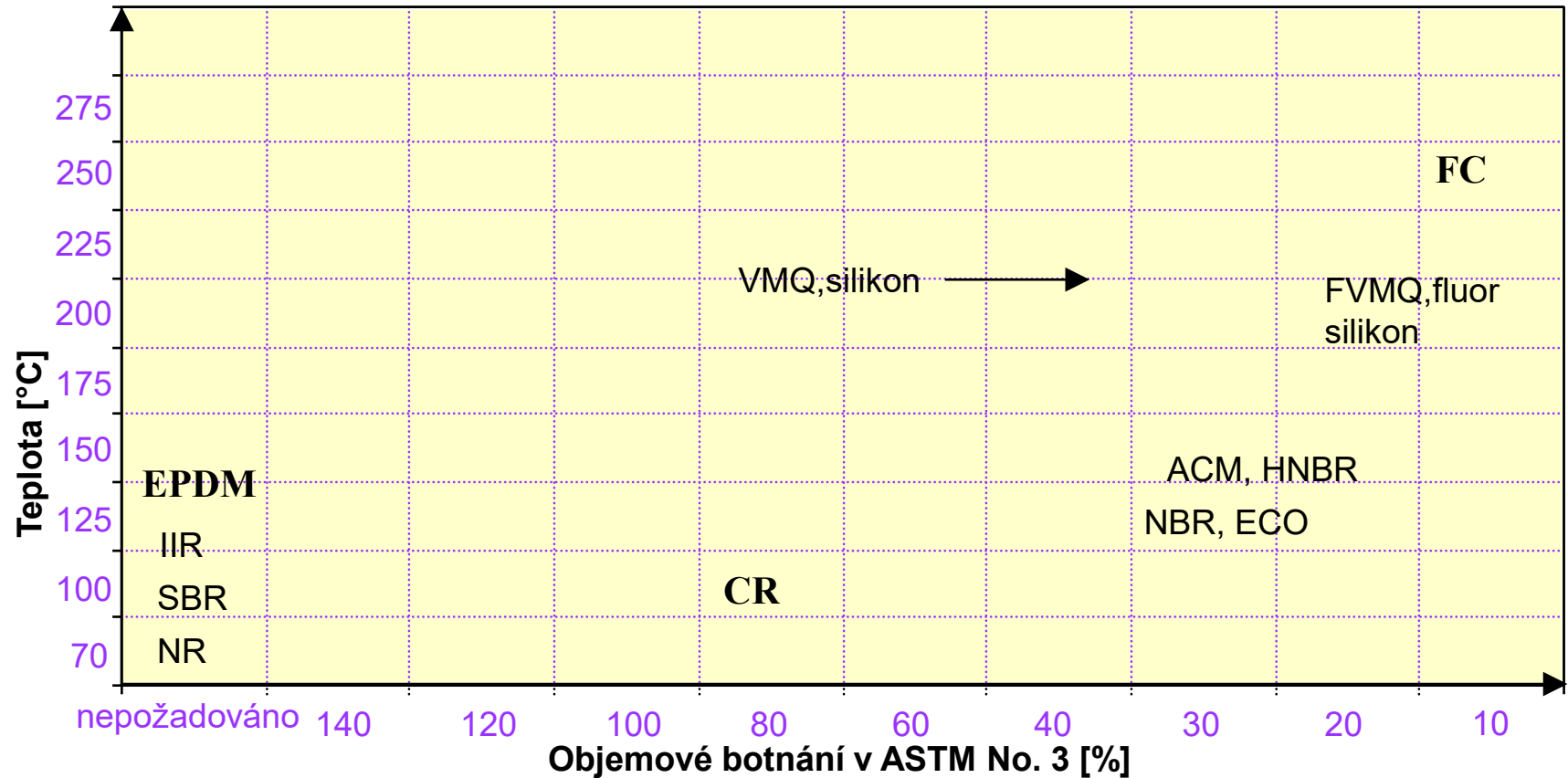
X
Volně tekoucí polymer
Aktivní síťovací místa (nenasycenost, chem. Funkcionalita) pro volné radikály
Nebo iontové reakce.

Y
Chemikálie způsobující vulkanizaci
multifunkční síťovadla
Síra, urychlovače, aktivátory
peroxydy

Z
“trojrozměrná síť”,
kde Z reprezentuje
reakční produkty
z **X** + **Y**

Odolnost elastomerů k teplotě & oleji

(ASTM D2000 / SAE J200)



Odolnost elastomerů – anilínový bod

Anilínový bod

Agresivitu oleje dobře charakterizuje tzv. anilínový bod = nejnižší teplota, při níž jsou stejné objemy anilínu a kapaliny vzájemně zcela mísitelné. Je mírou obsahu aromatických uhlovodíků v oleji. Má souvislost s botnáním pryžových těsnění.

Čím nižší je anilínový bod, tím vyšší je botnání dané pryže; tedy čím nižší je anilínový bod, tím vyšší je agresivita oleje. Agresivnější oleje způsobují vyšší botnání. Pro zkušební botnání pryží existují tři druhy olejů ASTM3 /AB 69,5±1/, ASTM2 /AB 93±3/(nyní IRM 902); ASTM1 /AB 123,9±1/ (nyní IRM901). Změna v názvu a změna složení byla provedena z důvodů karcinogenity bývalých standardů ASTM 2 a 3. Ve vlivu na pryže se oleje ASTM2 resp. IRM902 a ASTM3 resp. IRM903 neliší.

Pro funkci těsniva je kladné botnání pryže v daném oleji prospěšné (v průběhu funkce těsniva vyrovnává ztrátu přitlačné síly, nemělo by ale přesáhnout 20-30%. Jinak dochází k vtlačování těsniva do těsnící spáry a „drcení“ těsnícího materiálu.

Naopak jakékoliv záporné botnání (dochází k němu, pokud pryž, většinou NBR, je nastavena na agresivní olej a je použit méně agresivní olej. Pak dochází k vymývání oleje z pryže a tím ke „smršťování“ těsniva, což zvyšuje trvalou deformaci, ubývá přitlačná síla a tím se snižuje těsnost.

Odolnost elastomerů – anilínový bod

Anilínový bod

Název oleje	Anilinový bod, °C
Olej ASTM 1 (IRM 901)	123,9 ± 1
Syntetické oleje na bázi polyalfaolefinů (PAO)	120 - 125
Hydrokrakové oleje skupiny III a z GTL technologie	110 - 120
Hydrokrakové oleje skupiny II	105 - 115
Biologicky rozložitelné oleje na bázi rostlinných olejů (n-paraf. řetězec převažuje nad esterem)	105
Dobře rafinované selektivní rafináty, hydraulické oleje HLP 68	100 - 105
Většina hydraulických olejů na bázi selektivních rafinátů, HLP ISO VG 22, 32, 46	95 - 105
Olej ASTM 2 (IRM 902)	93 ± 3
Hydraulické oleje na bázi esterů polyolů, např.	90 - 95
Méně rafinované selektivní rafináty, oleje ložiskové, hydraulické	85 - 95
Estery dikarboxylových kyselin, letecké hydraulické oleje	70 - 80
Naftenické základové oleje, oleje nízkotuhnoucí	70 - 75
Transformátorové oleje	70
Olej ASTM 3 (IRM 903)	69,5 ± 1

S rostoucí viskozitou oleje anilinový bod zpravidla stoupá (až o 5°C)

Poměrné zastoupení hydraulických olejů v ČR

- **90% jsou hydraulické oleje na ropné bázi,**
 - Základové oleje jsou selektivní rafináty, resp. směsi s hydrogenačně rafinovanými oleji. Anilinový bod = 95 – 105°C.
- **5% jsou výkonné hydraulické oleje na bázi hydrogenačně rafinovaných olejů, sk. II a III a GTL.**
 - Patří sem i oleje na bázi syntetických uhlovodíků SHC, tj. PAO. Anilinový bod > 105°C. Výjimkou jsou směsi PAO + ester.
- **5% jsou ekologické oleje na esterové bázi,**
 - HETG triglyceridy, HEES reesterifikované rostlinné, či syntetické. Anilinový bod 95°C (rostlinné), 95 – 65°C (syntetické).
- **Těžkozápalné kapaliny na vodní bázi**
 - HFA, HFC a HFD

Chemické složení hydraulických olejů

- **Hydraulické oleje na ropné bázi,**
 - HLP, HVLP s polymerní přísadou, HLPD s detergentem

- **Ekologické oleje na esterové bázi,**
 - HETG triglyceridy, HEES reesterifikované rostlinné, či syntetické,

- **Těžkozápalné kapaliny na vodní bázi**

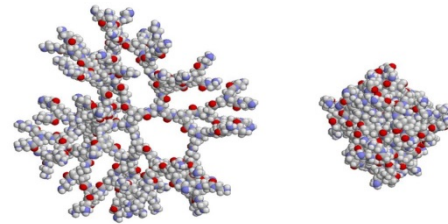
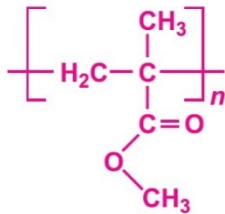
Chemické složení hydraulických olejů

Typická formulace většiny hydraulických olejů ISO 6743/4 HM, VG 32, 46, 68 (DIN 51 524 part 2 HLP) je:

Vysoce rafinovaný ropný olej, nejčastěji Skupina I dle API	>98 %
Multifunkční přísada, obvykle s protioděrovým a antioxidačním účinkem	0.5 %
Zlepšovač viskozitního indexu a depresant	0.2 %
Inhibitor koroze a rezivění	0.15 %
Protipěnovostní přísada	0.0005 %
Alternativně: Nízkoteplotní antioxidant, Disperzant	< 1 %

Chemické složení hydraulických olejů

Typická formulace hydraulických olejů s vysokým viskozitním indexem ISO 6743/4 **HV**, VG 32, 46, (DIN 51 524 part 2 **HVLP**) obsahuje navíc 2 – 10% polymerních přísad, které **ne**ovlivňují botnavost pryží.



Pozor na označení **SHC** (Synthetic Hydrocarbons)! Někdy tyto oleje obsahují jen uhlovodíky, např. PAO, jindy směs s estery! Směsné mají anilínový bod=100°C.

Těžkozápalné kapaliny na vodní bázi HFC jsou vodní roztoky polyglykolů, splňují požadavky VII. Lucemburské zprávy.

Chemické složení hydraulických kapalin

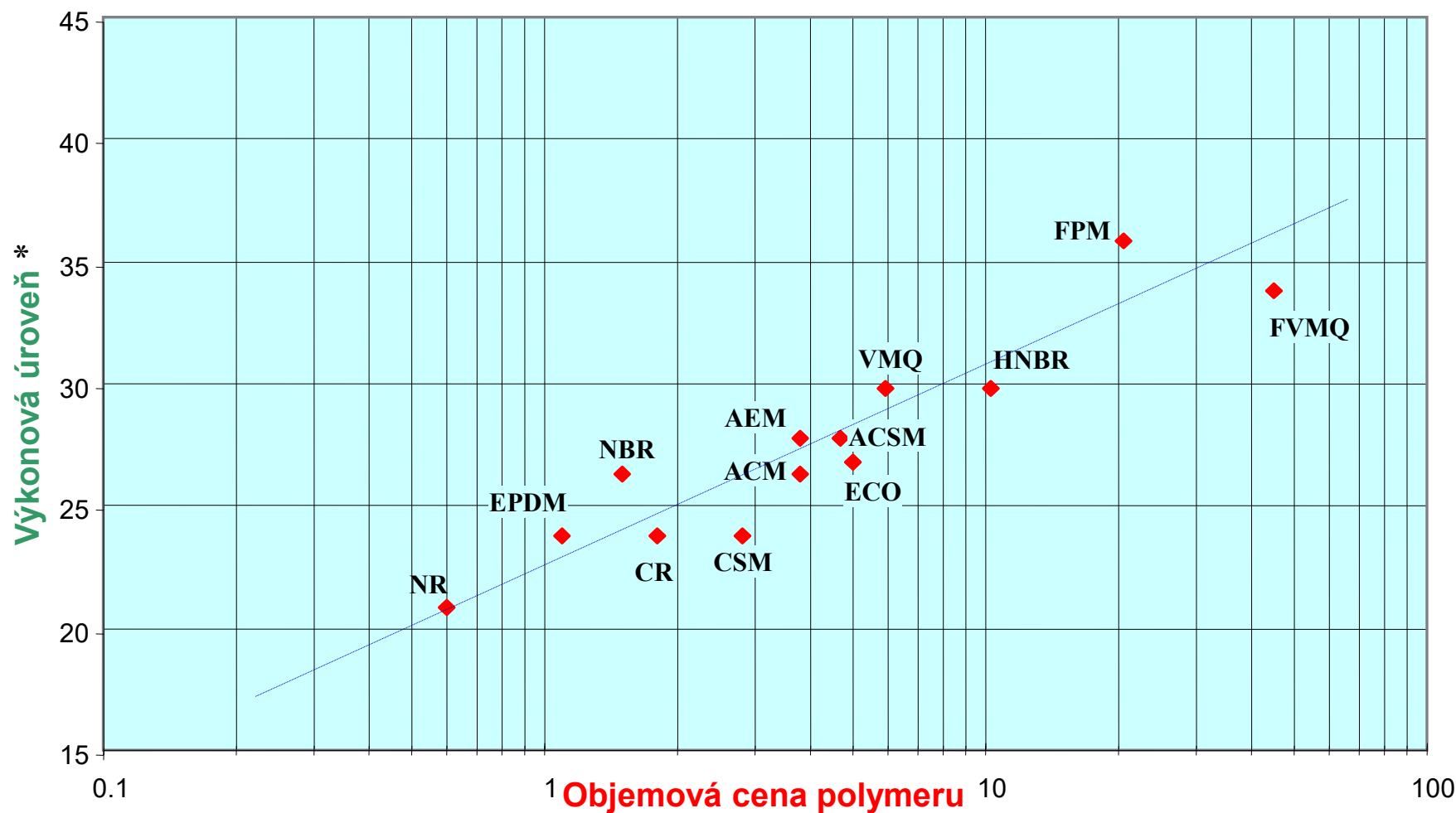
Přehled těžko zápalných hydraulických kapalin HF na vodní bázi			
Skupina	Popis	Složky	Poznámka
HFA	Koncentrát vodou mísitelné kapaliny		
HFA - E	Emulze olej ve vodě	Ropný olej (ester) přísady	Typická koncentrace max. 5%
HFA - S	Roztok ve vodě rozpustných látek	Aminy polyglykoly a pod.	Typická koncentrace max. 5%
HFB	Emulze voda v oleji	Voda >40%	Použití v dolech v UK
HFC	Vodní roztoky polymerů	Polyglykoly Voda >35%	Např. pro odlévání hliníku

Snášlivost s elastomery předepsaná v VII. Lucemburské zprávě

**Test compatibility pro HFA, HFB a HFC kapaliny:
ISO 6072 a CETOP RP 81 H**

Pryže:	NBR, FPM a EPDM, zkušební proužky 50x25x2 mm
Podmínky:	7 dní, 60°C
Vyhodnocení:	Botnání max. 7% Tvrdost Shore +2 až -7

Cena vers. výkon



*: stanoveno dle tepelné odolnosti, odolnosti k olejům, mechanických vlastností

Korozní sborník

- je tabulka, kde je v řádcích příslušné prostředí (většinou srovnané podle abecedy) a ve sloupcích elastomery v pryži. V průsečíku je pak číslo, které udává odolnost dané pryže v daném prostředí
- Existuje řada korozních sborníků od různých firem vyrábějící těsnění resp. vyrábějících směsi na prodej, případně korozní sborníky různých institucí a výzkumných ústavů.... Často firmy korozní sborníky od sebe různě opisují....
- Dva výstřižky jako příklad (Hydraulický olej, nutno použít polární elastomer –NBR; Dibutylftalát relativně agresivní kapalina, neboť má jak polární tak nepolární „konce“, takže většina pryží neodolává)
- Třetí je z internetu s přehledem standardních botnacích kapalin

Korozní sborník

Code	Polymer	COMPOUNDS	°F	°C	These temperature ranges will apply to the majority of fluids for which the compound is recommended, but in some fluids the range may be different. See figure A3-6 of OR 5700.
A	Polyacrylate	A607-70	-5 / +350	-21/+177	
B	Butyl	B318-70	-75/+225	-59/+107	
C	Neoprene	C557-70	-45/+300	-43/+149	
E	Ethylene Propylene	E540-80	-70/+300	-57/+149	
G	SBR	G244-70	-65/+225	-55/+107	
L	Fluorosilicone	L677-70	-100/+350	-73/+176	
N	Nitrile	N674-70	-30/+250	-34/+121	
P	Polyurethane	N103-70	-65/+225	-55/+107	
S	Silicone	P642-70	-40/+200	-40/+ 93	
T	Polysulfide	S604-70	-65/+450	-54/+232	
V	Fluorocarbon	T341-65	-70/+225	-57/+107	
		V747-75	-15/+400	-26/+204	

COMPATIBILITY RATING		RECOMMENDED O-Ring COMPOUND NUMBER	DYNAMIC & STATIC						STATIC ONLY	
1. Satisfactory 2. Fair (Usually OK for static seal) 3. Doubtful (Sometimes OK for static seal) 4. Unsatisfactory X. Insufficient Data			Nitrile	Ethyl.-Prop. Fluorocarb.	Neoprene SBR	Polyacrylate Polyureth.	Butyl Butadiene	Isoprene Nat. Rubber	Hypalon Fluorosilic. Silicone	Polysulfide
			N	E V	C G	A P	B D	I R	H L	S T
Houghto-Safe 271 (Water and Glycol base)		N674-70	1	1 2	2 1	4 4	2 X	X X	X 2	2 X
620 Water/Glycol		N674-70	1	1 2	2 1	4 4	2 X	X X	X 2	2 X
1010, phosphate ester		E540-80	4	1 1	4 4	4 X	1 4	4 4	4 2	3 3
1055, phosphate ester		E540-80	4	1 1	4 4	4 X	1 4	4 4	4 2	3 3
1120, phosphate ester		E540-80	4	1 1	4 4	4 4	1 4	4 4	4 2	3 3
5040 (Water/Oil emulsion)		N674-70	1	4 1	2 4	4 4	4 4	4 4	4 2	3 X
Hydraulic Oil (Petroleum Base)		N674-70	1	4 1	2 4	1 1	4 4	4 4	2 1	2 1
Hydrazine		E540-80	2	1 X	2 2	X X	1 X	X X	2 X	2 4
Hydrobromic Acid,		E540-80	4	1 1	4 4	4 4	1 4	1 1	1 3	4 X
Hydrobromic Acid 40%		E540-80	4	1 1	2 4	4 4	1 4	1 1	1 3	4 X
Hydrocarbons (Saturated)		N674-70	1	4 1	2 4	1 2	4 4	4 4	3 1	4 1
Hydrochloric Acid,		E540-80	3	1 1	3 3	2 X	1 3	3 3	2 2	4 4
3 Molar		V494-70	4	3 1	4 4	4 X	1 4	4 4	4 3	4 4
Concentrated		E540-80	2	1 1	2 2	4 X	1 2	1 1	1 2	3 4
Hydrocyanic Acid										
Hydro-Drive, MIH 50 (Petroleum Base)		N674-70	1	4 1	2 4	1 2	4 4	4 4	4 1	2 1
MIH-10 (Petroleum Base)		N674-70	1	4 1	2 4	1 2	4 4	4 4	4 1	2 1
Hydrofluoric Acid, 65% or Less, Cold		E540-80	3	1 1	1 2	4 X	1 4	2 2	1 X	4 4
65% or More, Cold		V494-70	4	3 1	4 4	4 X	3 4	4 4	1 4	4 4
65% or Less, Hot		V494-70	4	4 3	3 4	4 4	4 4	4 4	3 4	4 4
65% or More, Hot		V494-70	4	4 3	4 4	4 4	4 4	4 4	4 4	4 4
Anhydrous		E540-80	4	2 4	4 4	4 X	2 4	4 4	1 4	4 4
Hydrofluosilicic Acid										
Hydrogen Gas Cold		E540-80	2	1 1	2 2	4 X	2 4	4 4	1 4	4 4

Korozní sborník

COMPATIBILITY RATING 1. Satisfactory 2. Fair (Usually OK for static seal) 3. Doubtful (Sometimes OK for static seal) 4. Unsatisfactory X. Insufficient Data	RECOMMENDED O-Ring COMPOUND NUMBER																
		Nitrile N	Ethyl-Prop. Fluorocarb. E V		Neoprene SBR C G		Polyacrylate Polyureth. A P		Butyl Butadiene B D		Isoprene Nat. Rubber I R		Hypalon Fluorosilic. Silicone Polysulfide H L S T				
Creosote, Wood	N674-70	1	4	1	2	4	1	3	4	4	4	4	4	1	4	3	
Creosylic Acid	V747-75	4	4	1	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	4	4	
Crude Oil	V747-75	2	4	1	4	4	1	X	4	4	4	4	4	2	4	X	
Cumene	V747-75	4	4	1	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	4	2	
Cutting Oil	N674-70	1	4	1	2	4	1	1	4	4	4	4	2	1	4	1	
Cyclohexane <i>Cyclohexylamine</i>	N674-70	1 ³	4 ³	1 ⁴	3	4 ⁴	2	1 ⁴	4	4	4	4	4	1 ⁴	4 ⁴	1	
Cyclohexanol	N674-70	1	4	1	2	4	X	X	4	4	4	4	2	1	4	2	
Cyclohexanone	E540-80	4	2	4	4	4	4	4	2	4	4	4	4	4	4	2	
P-Cymene	V747-75	4	4	1	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	4	4	
D																	
Decalin	V747-75	4	4	1	4	4	X	X	4	4	4	4	4	1	4	2	
Decane	N674-70	1	4	1	3	4	1	2	4	4	4	4	3	1	2	1	
Delco Brake Fluid	E603-70	3	1	4	2	1	X	X	2	X	X	X	2	4	3	4	
Denatured Alcohol	N674-70	1	1	1	1	1	4	4	1	1	1	1	1	1	1	1	
Detergent, Water Solution	N398-70	1	1	1	2	2	4	4	1	2	2	2	2	1	1	X	
Developing Fluids (Photo)	N674-70	1	2	1	1	2	X	X	2	2	1	1	1	1	X	1	
Dextron	N674-70	1	4	1	2	4	1	2	4	4	4	4	4	2	4	X	
Diacetone	E540-80	4	1	4	4	4	4	4	1	4	4	4	4	4	4	2	
Diacetone Alcohol	E540-80	4	1	4	4	4	4	4	1	4	4	4	4	4	4	2	
Diazinon	V747-75	3	4	2	3	4	X	X	4	4	4	4	3	2	4	X	
Dibenzyl Ether	T341-65	4	2	4	4	4	X	2	2	4	4	4	4	X	X	2	
Dibenzyl Sebacate	V747-75	4	2	2	4	4	4	2	2	4	4	4	4	3	3	2	
Dibromoethyl Benzene	V747-75	4	4	1	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	4	4	
Dibutylamine	C557-70	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	
Dibutyl Ether	T341-65	4	3	3	4	4	3	2	3	4	4	4	4	3	4	1	
Dibutyl Phthalate	E540-80	4	2	3	4	4	4	X	3	4	4	4	4	3	X	2	
Dibutyl Sebacate	E540-80	4	2	2	4	4	4	4	2	4	4	4	4	2	2	2	
O-Dichlorobenzene	V747-75	4	4	1	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	4	1	
P-Dichlorobenzene—	V747-75	4	4	1	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	4	1	
Dichloro-Butane	V747-75	2	4	1	4	4	4	4	4	4	4	4	4	2	4	3	
Dichloro-Isopropyl Ether	T341-65	4	3	3	4	4	3	2	4	4	4	4	4	3	4	1	
Dicyclohexylamine	N674-70	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	X	4	
Diesel Oil	N674-70	1	4	1	3	4	1	3	4	4	4	4	3	1	4	1	
Di-ester Lubricant MIL-L-7808	V747-75	2	4	1	4	4	2	4	4	4	4	4	4	2	4	2	
Di-ester Synthetic Lubricants	V747-75	2	4	1	4	4	2	4	4	4	4	4	4	2	4	2	

	EPDM	NBR	CR	HNBR	VMQ	FVMQ	FKM	ACM	FFKM	PTFE
ASTM Kraftstoff Nr. 1, i-Oct.	-	A	U	-	U	-	A	-	-	A
ASTM Kraftstoff Nr. 2, i-Oct./Toluol	-	C	U	-	U	-	A	-	-	A
ASTM Kraftstoff Nr. 3, Toluol /i-Oct.	-	U	U	U	U	-	B	-	-	A
ASTM Öl Nr. 1	U	A	B	A	B	A	A	A	A	A
ASTM Öl Nr. 1, 150°C	-	-	-	B	-	-	-	-	-	A
ASTM Öl Nr. 2	U	A	C	-	B	B	A	-	A	A
ASTM Öl Nr. 3	U	B	U	-	C	U	B	-	A	A
ASTM Öl Nr. 3, 150°C	-	-	-	C	-	-	-	-	-	A
Benzin	U	U	B	-	U	A	A	A	-	A
Benzin-Benzol-Ethanol 50 / 30 / 20	U	U	U	-	U	B/C	B/C	U	-	A
Benzin-Benzol-Gemisch 50 / 50	U	U	U	-	U	B	B	U	A	A
Benzin-Benzol-Gemisch 60 / 40	U	U	U	-	U	B	B	U	A	A
Benzin-Benzol-Gemisch 70 / 30	U	B/C	U	-	U	A	B	B	A	A
Benzin-Benzol-Gemisch 80 / 20	U	B/C	U	-	U	A	B	B	A	A

A = ausgezeichnet

B = gut

C = gering

U = ungenügend

Snášlivost maziv s elastomery a plasty v automobilovém průmyslu

Interakce mezi třecími povrchy a mazivem

- Zkouška botnavosti EN 1817
- Test napěťové koroze EN ISO 4600
- „In house“ metody
- Testy na skutečných součástkách
- Testovací spreje na zviditelnění trhlin

Hlavní charakteristiky základních polymerů

	tepelná odolnost	olejová odolnost	povětrnostní odolnost
SBR	< 80°C	špatná	přiměřená
NR	< 80°C	špatná	přiměřená
BR	< 80°C	přiměřená	přiměřená
CR	> 100°C	dobrá	velmi dobrá
NBR	> 100°C	velmi dobrá	přiměřená
EP(D)M	> 120°C	špatná	velmi dobrá
FPM	> 200°C	velmi dobrá	velmi dobrá

Souhrn

Pro výběr materiálu pro těsnivo je rozhodující prostředí a teplota v jakém bude těsnivo pracovat. Zjednodušeně je vhodné pro polární prostředí používat nepolární pryže pro nepolární prostředí polární pryže.

Výběr materiálu pro těsnivo musí být proveden tak, aby nedocházelo k zápornému botnání.

Pokud těsnivo pracuje mimo kapalně prostředí – na vzduchu v běžném prostředí, je vhodné používat materiály s nasyceným páteřním řetězcem bez dvojných vazeb. Což potvrzuje velké rozšíření EPDM.

Kompatibilita olejů a pryží - příklad z praxe

- Planetová převodovka zemního stroje Caterpillar
- Náplň: Syntetický ester místo ropného oleje, bez výměny těsnění
- Těsnění: Silikonová pryž (MVQ)
- Doba provozu: 1 800 Mth
- Pracovní teplota náplně: 90 – 100°C
- Důvod výměny oleje – biologická rozložitelnost esteru

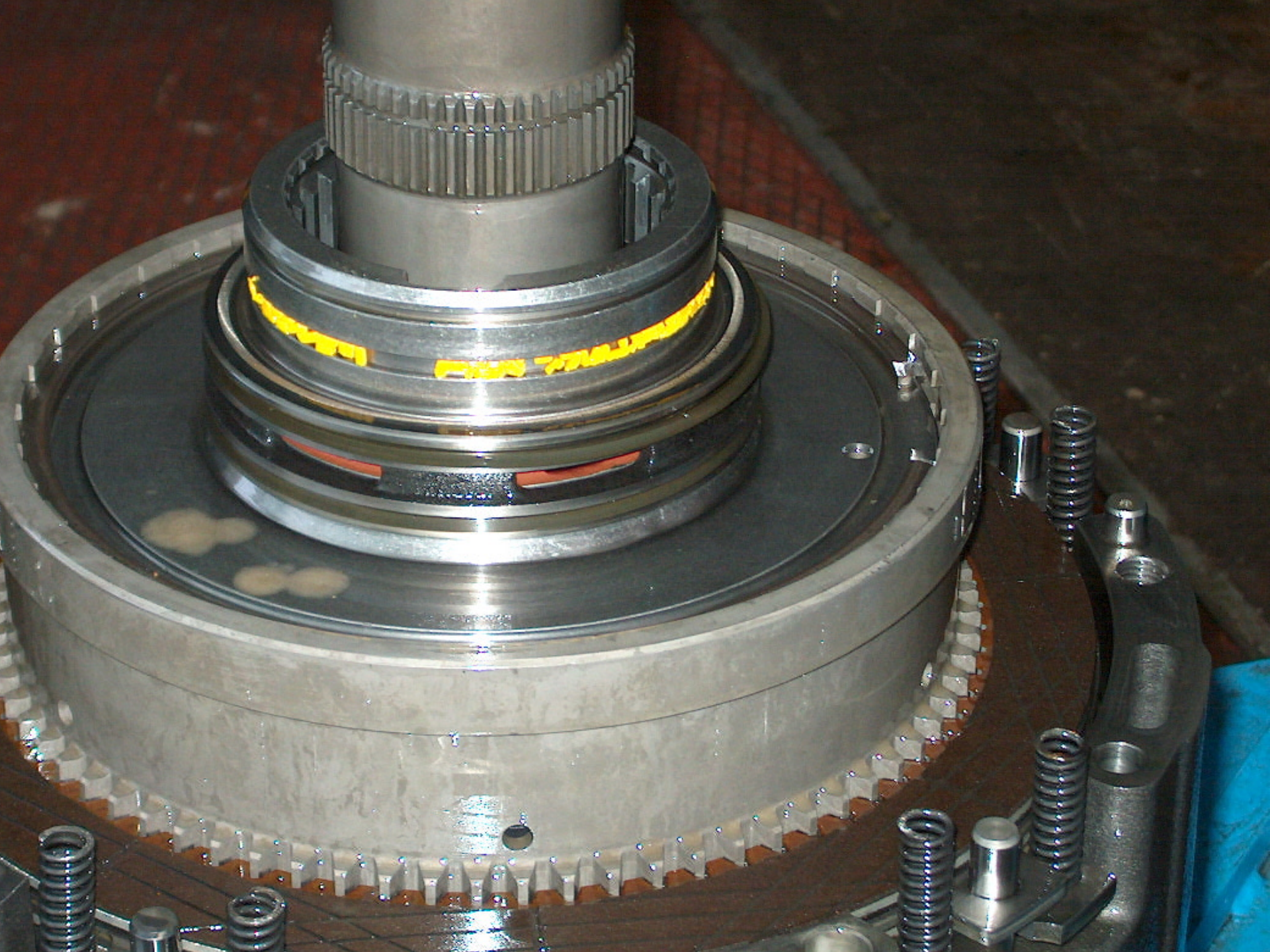
Test botnavosti pryže 120°C / 24 h

- Nové těsnění ze silikonové pryže:
- Ropný olej + 2,9%
- Esterový olej + 3,0%









Test botnavosti pryže v toluenu při 25°C

- Těsnící kroužek:
- Nový + 215%
- Po botnání v ropném oleji + 216%
- Po botnání v esterovém oleji + 113%
- Použitý kroužek z provozu + 185%

Expertní závěr

- Dynamickým působením syntetického esteru za vysoké teploty došlo k dodatečnému zesíťování silikonové pryže, tj. ke změně elasticity
- Příčina problémů: záměna ropného oleje za esterový bez výměny těsnění
- Možná řešení problému:
 - Ropný olej
 - Jiný biologicky rozložitelný olej
 - Snížení pracovní teploty oleje
 - Odolnější těsnění např. z FPM