

ESF II projekt Západočeské univerzity v Plzni

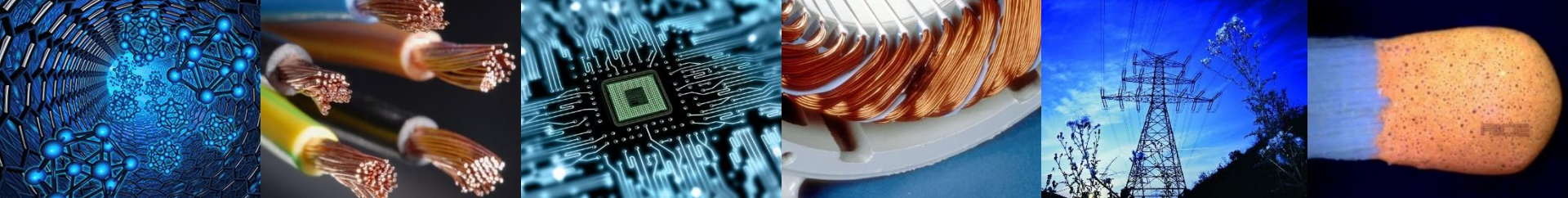
reg. č. CZ.02.2.69/0.0/0.0/18_056/0013239



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



Západočeská univerzita v Plzni

Katedra materiálů a technologií

9.

Elektrotechnické materiály ***KET/ELTM***

Ing. Robert Vik, Ph.D.



**FAKULTA
ELEKTROTECHNICKÁ
ZÁPADOČESKÉ
UNIVERZITY
V PLZNI**

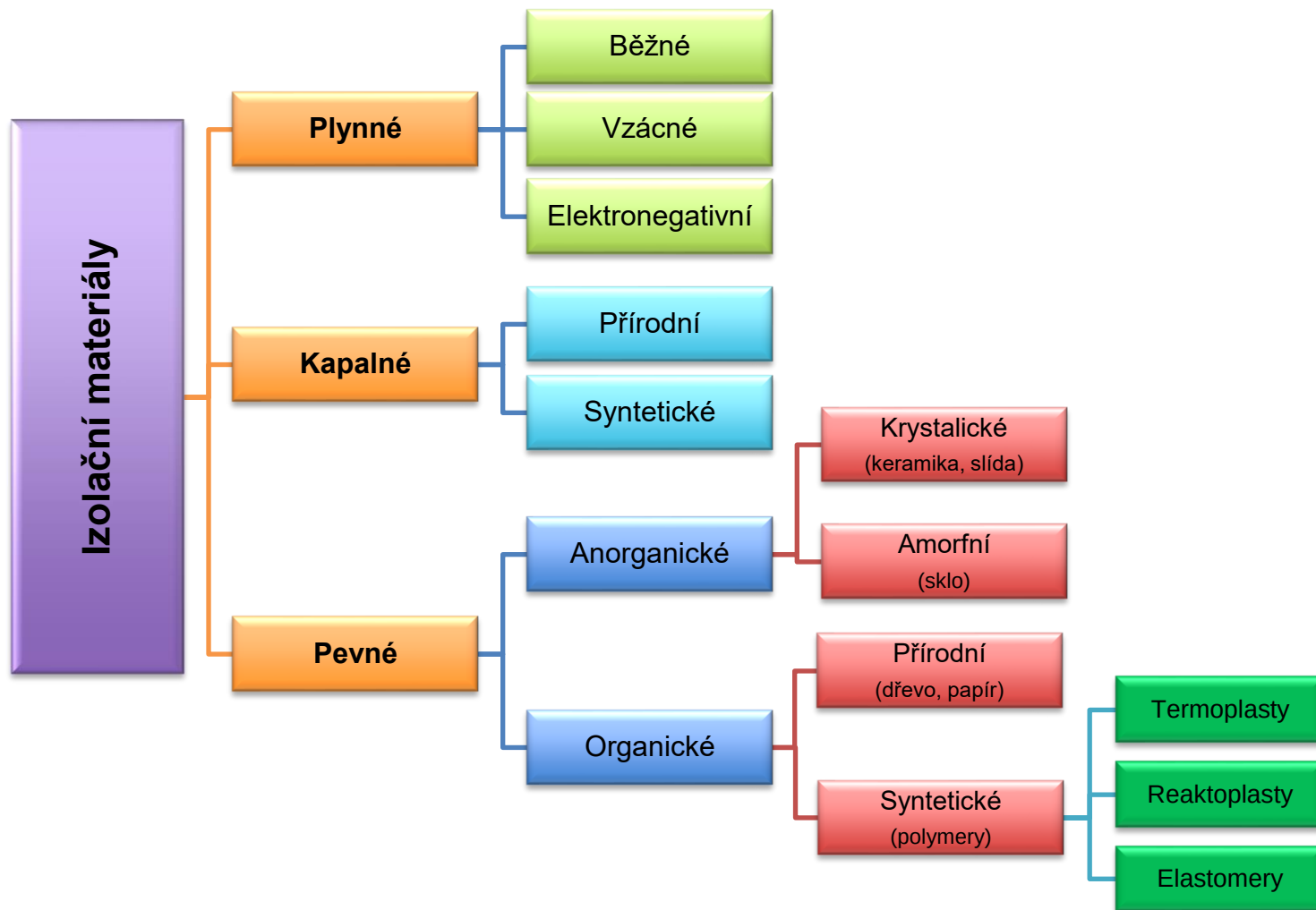
EK 410, rvik@ket.zcu.cz



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Rozdělení elektroizolačních materiálů



Plynné izolanty



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Rozdělení plynných izolantů

Běžné plyny

(složky vzduchu)

vakuum

vzduch

dušík

oxid uhličitý

vodík

Vzácné plyny

(plyny 8.A skupiny PSP)

helium

neon

argon

krypton

xenon

Elektronegativní

(molekuly obsahující elektronegativní atomy ze 7.A skupiny (F, Cl))

fluorid sírový

fluorované
uhlovodíky



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Obecné vlastnosti plynných izolantů

- nízká relativní permitivita (o málo vyšší než 1)
- dielektrické ztráty prakticky nezávislé na frekvenci ($\text{tg } \delta = 10^{-6} - 10^{-5}$)
- rovnoměrné vyplnění prostoru
- schopnost **regenerace** – obnovení izolačních schopností po průrazu (přeskok)
- elektrická pevnost závislost na tlaku ($\uparrow p \mid \uparrow E_p$) a teplotě ($\uparrow T \mid \downarrow E_p$)

Obecné použití

- kde se nevyžaduje velká kapacita
- kde není velké elektrické namáhání
- kdy vyžadujeme malé dielektrické ztráty



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



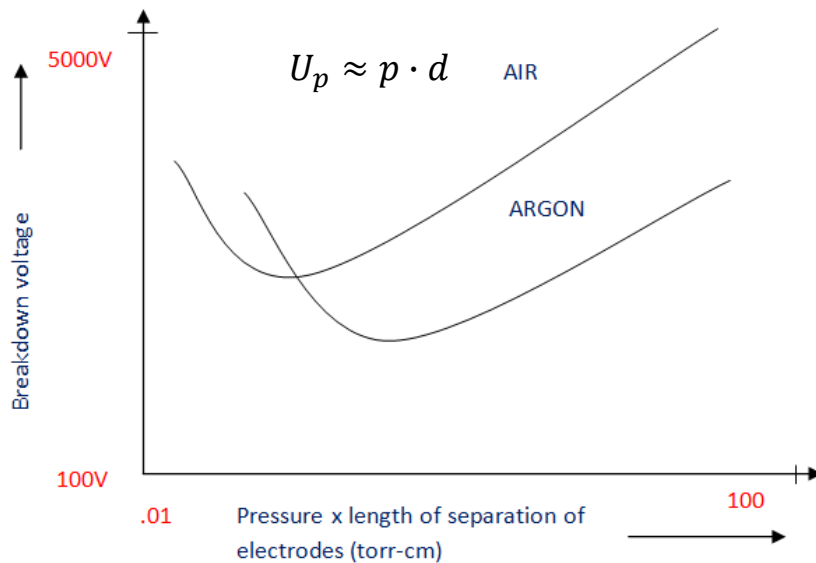
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Plynné izolanty

Vzduch a vakuum

- ▶ směs plynů (78 % N₂, 21 % O₂, 0,9 % Ar, H₂O, CO₂, H₂, Kr, He, Rn)
- ▶ nejběžnější plynný izolant
- ▶ $\epsilon_r = 1,00059$, $E_p \sim 3 \text{ kV} \cdot \text{mm}^{-1}$

Paschenova křivka pro vzduch a argon



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Plynné izolanty

Vzduch a vakuum

- ▶ venkovní vedení, vzduchové kondenzátory, transformátory, měřicí a referenční kondenzátory
- ▶ vn zařízení – stlačený vzduch



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

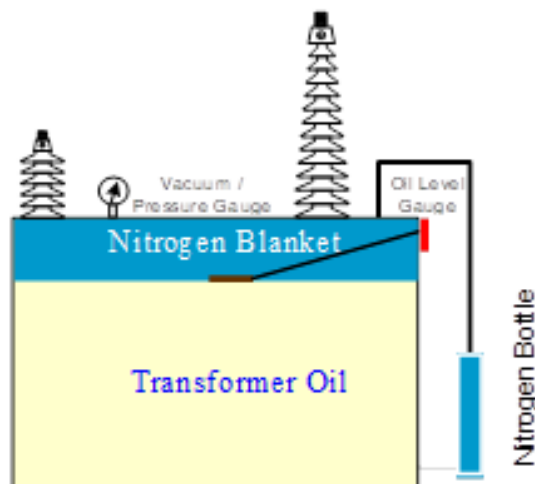
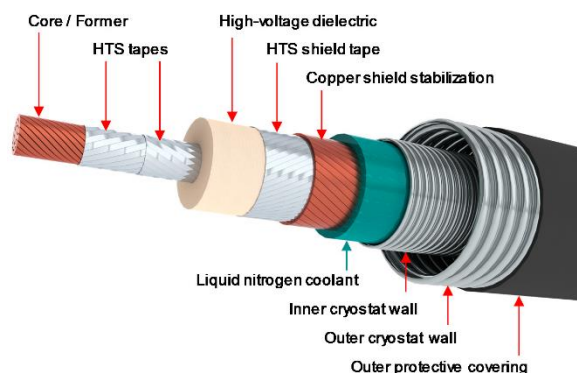


MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Plynné izolanty

Dusík

- ▶ lehčí než vzduch, inertní plyn, nemá oxidační vlastnosti
- ▶ žárovky (v kombinaci se vzácnými plyny), stlačený N_2 pro plnění vysokonapěťových kabelů a kondenzátorů
- ▶ další aplikace: atmosféra bránící oxidaci izolačních olejů v transformátorech, chladící médium v kryogenní technice



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

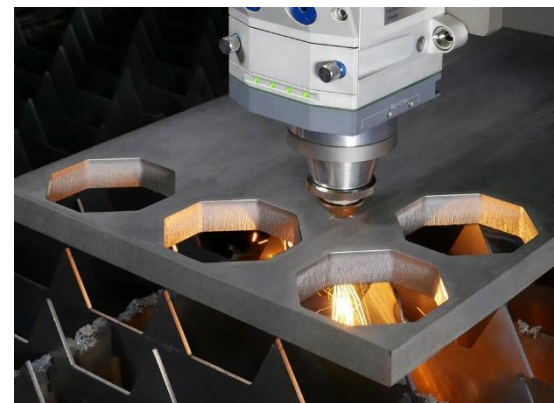
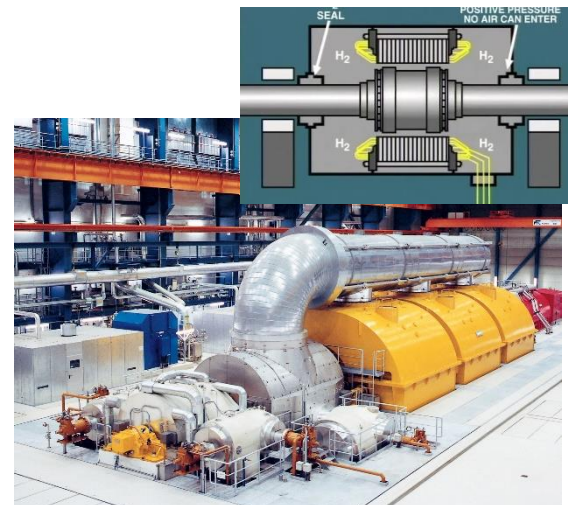
Plynné izolanty

Vodík

- ▶ velmi lehký plyn
- ▶ v kombinaci se vzduchem tvoří výbušnou směs (4 – 77 obj. %)
- ▶ 7× větší tepelná vodivost než vzduch (chlazení velkých elektrických točivých strojů)
- ▶ používá se jako chladivo v kryogenní technice, jako redukční atmosféra při výrobě polovodičů a v el. pecích

- **Oxid uhličitý**

- ▶ těžší než vzduch
- ▶ stlačený CO₂ jako dielektrikum kapacitních normálů
- ▶ lasery pro lékařství, technologické lasery do výkonu cca 20 kW (řezání, svařování)



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

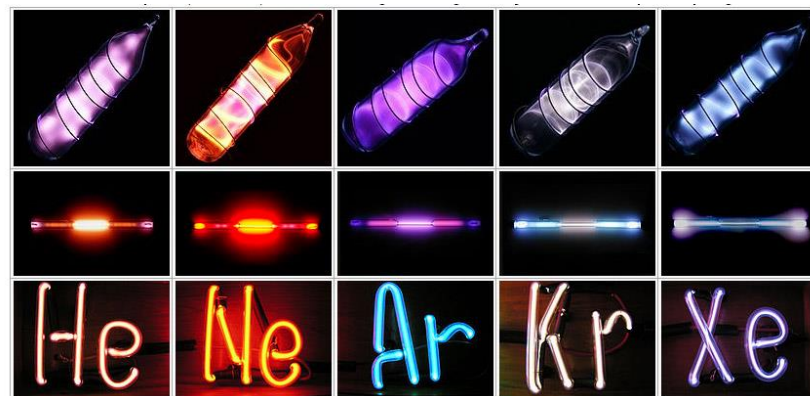
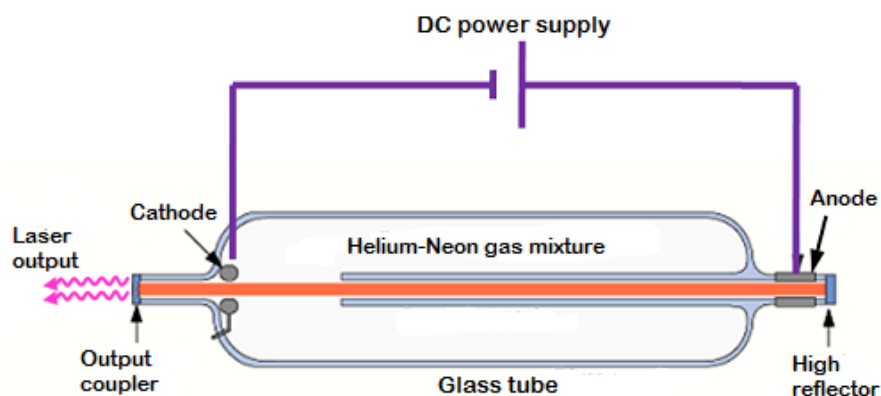


MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Plynné izolanty

- **Vzácné plyny (He, Ne, Ar, Kr, Xe)**

- ▶ vyznačují se chemickou netečností
- ▶ získávají se frakční destilací ze vzduchu
- ▶ snadná ionizovatelnost - použití zejména v osvětlovací technice jako náplň žárovek a výbojek
- ▶ plynové lasery (He-Ne, Ar, excimerové lasery)



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

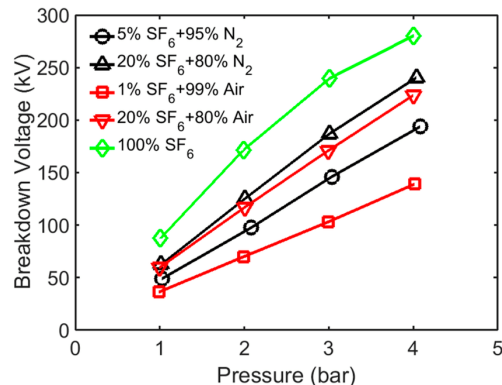
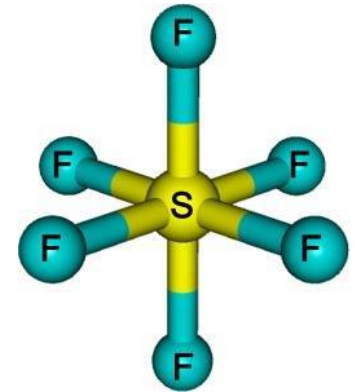


MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

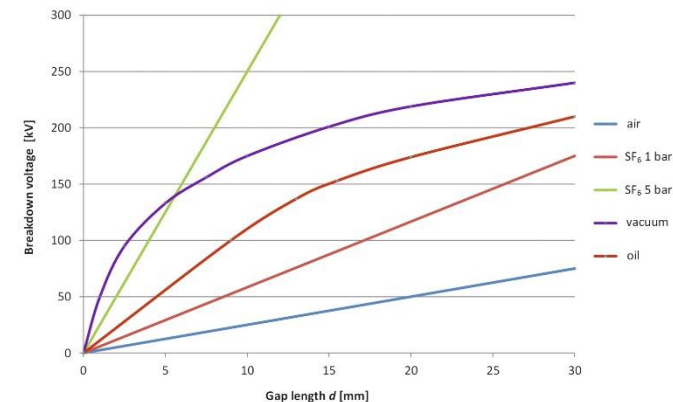
Plynné izolanty

- **Elektronegativní plyny**

- ▶ obsahují v molekulách atomy fluoru nebo chloru
- ▶ *elektronegativní* - jejich molekuly zachycují volné elektrony (těžké záporné ionty s malou pohyblivostí → zpomalení výboje)
- ▶ velká elektrická pevnost (stlačené až 5x vyšší E_p než vzduch)
- ▶ nehořlavé, tepelně stálé, netoxické, chemicky inertní, použití až do 220 °C
- ▶ **fluorid sírový (SF_6)**, hexafluoroethan (C_2F_6), oktafluoropropan (C_3F_8)



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Plynné izolanty

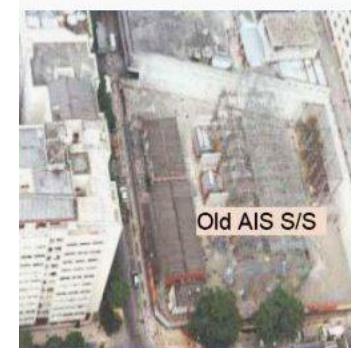
- **Elektronegativní plyny**

použití

- ▶ plnění suchých transformátorů, vypínačů pro vysoké napětí,
- ▶ zapouzdřené rozvody,
- ▶ izolační náplň některých typů silových kabelů

nevýhody

- ▶ reaktivní produkty rozkladu (SF_6 zpětně regeneruje)
- ▶ silné skleníkové plyny
(CO_2 ekv. SF_6 je 22 800; C_2F_6 12 200;
 C_3F_8 8 800) – často ve směsích s N_2/CO_2



https://www.youtube.com/watch?v=ckaJs_u2U_A



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



Kapalné izolační materiály



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Kapalné izolanty

- **obecné vlastnosti:**

- ▶ v porovnání s plyny výrazně vyšší elektrická pevnost
- ▶ dobře odvádějí teplo
- ▶ dobře vyplňují póry a dutiny
- ▶ vedle izolačních vlastností (rezistivita, permitivita, elektrická pevnost) jsou důležité i další fyzikální parametry (viskozita, bod tuhnutí, teplota vzplanutí)

- rozdělení podle původu

- ▶ minerální oleje (získávané z ropy)
- ▶ rostlinné oleje
- ▶ syntetické kapaliny (uměle připravené sloučeniny)



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Minerální oleje

- směs uhlovodíků získávaná destilací ropy (hořlavé, ekologické riziko při úniku)
- v průběhu provozu stárnou (oxidace, tepelná degradace, elektrické pole) → zhoršování izolačních vlastností (nutnost kontrol)
- stabilita vlastností se zlepšuje **inhibitory** (antioxidanty)



Mineral oil

Paraffin



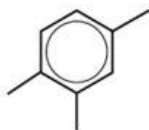
Isoparaffin



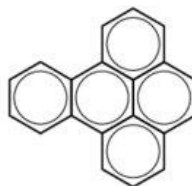
Naphthenes



Aromatic



Polyaromatic



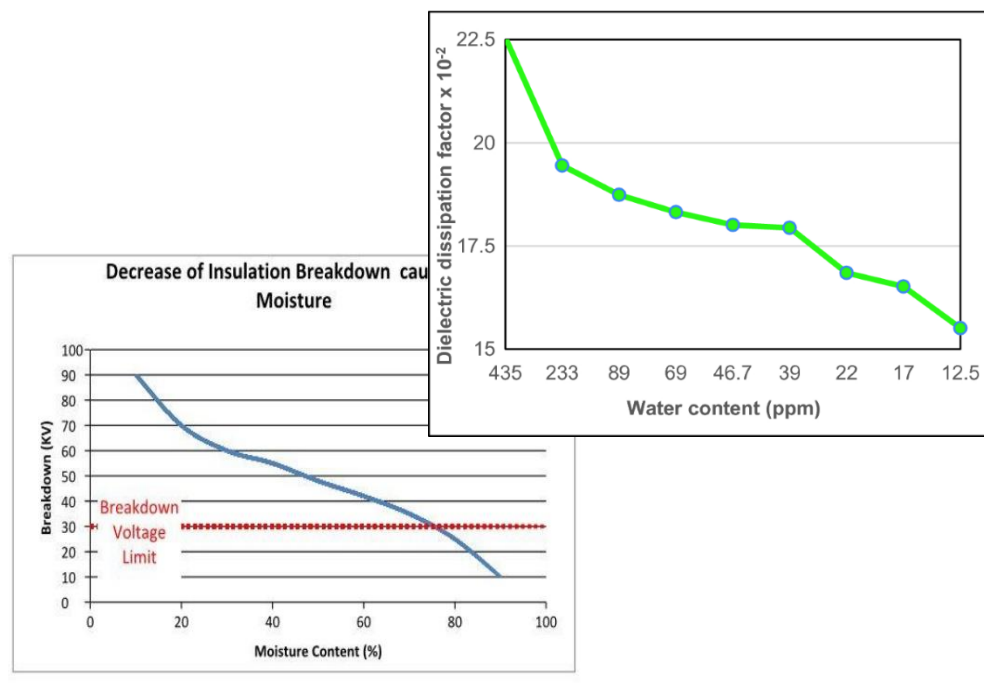
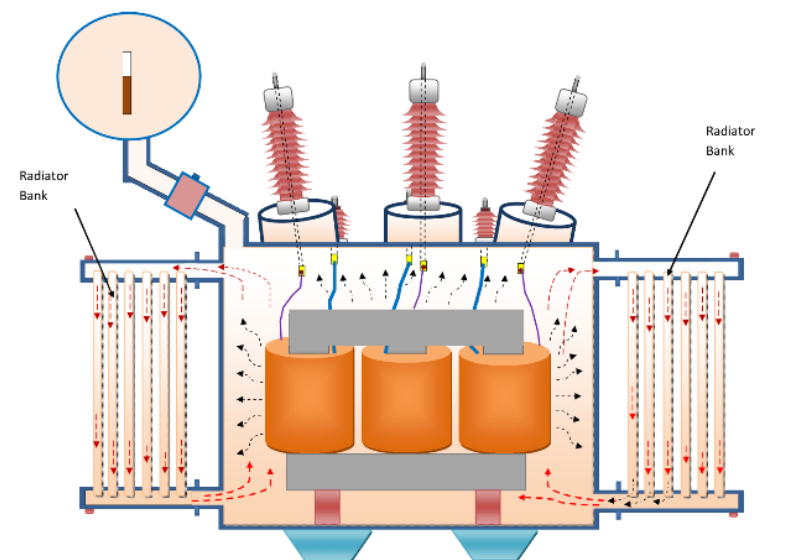
EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Minerální oleje

- vlhkost působí nepříznivě na dielektrické vlastnosti a elektrickou pevnost
- v transformátorech vedle izolační funkce i funkce chladicí



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

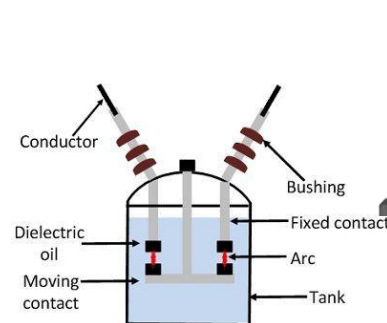


MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

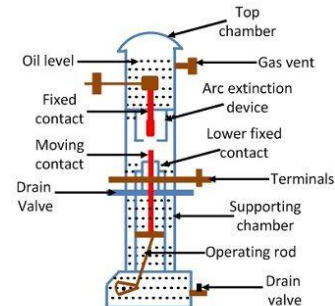
Minerální oleje

- použití

- ▶ vn a vvn transformátory
- ▶ průchodky
- ▶ olejové a máloolejové vn vypínače
- ▶ vn kondenzátory až do 100 kV

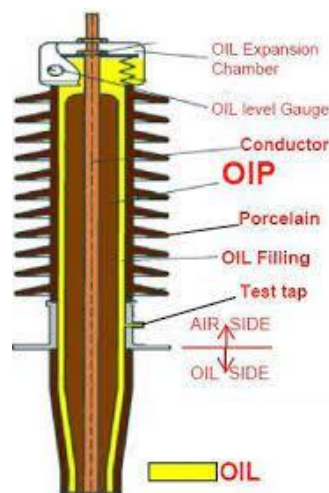
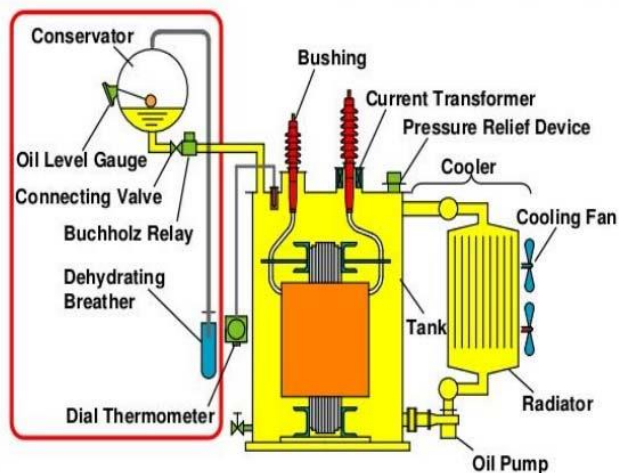


Bulk Oil Circuit Breaker



Minimum Oil Circuit Breaker

Circuit Globe



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Rostlinné oleje

- směsi esterů, glycerinů a nenasycených mastných kyselin získávané z rostlin
- dříve používány jako součást izolačních laků (tzv. **vysychavé** oleje, např. lněný) nebo jako náplň olejových kondenzátorů (**nevysychavé** oleje, např. ricinový)
- v současné době jejich význam opět roste – jako izolační kapaliny pro transformátory
 - ▶ vysoký bod vzplanutí
 - ▶ nízký obsah sirných sloučenin
 - ▶ ekologická odbouratelnost
 - ▶ polární sloučeniny – vyšší dielektrické ztráty
 - ▶ vyšší bod tuhnutí
 - ▶ vyšší viskozita



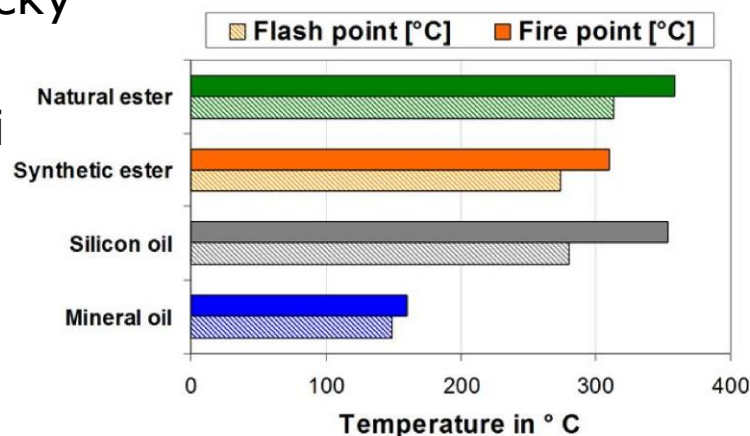
EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

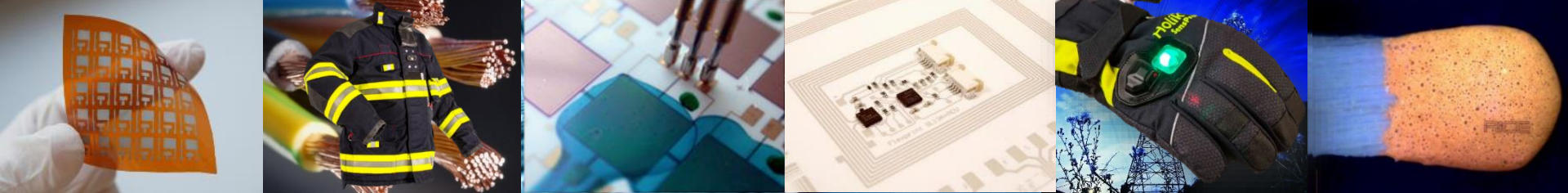
Syntetické kapaliny

- uměle připravené chemické sloučeniny
- výborné izolační a dielektrické vlastnosti
- proti minerálním olejům výrazně nižší hořlavost, chemicky čisté a vysoce chemicky stabilní
- vyšší cena v porovnání s minerálními oleji
- **silikonové oleje, syntetické estery**
- polybutylen, dodecylbenzen
- náhrada minerálních olejů v transformátorech, vypínačích, kondenzátorech (vyšší permitivita), atd.



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



Západočeská univerzita v Plzni

Katedra materiálů a technologií

Děkuji za pozornost



**FAKULTA
ELEKTROTECHNICKÁ
ZÁPADOČESKÉ
UNIVERZITY
V PLZNI**



EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY