



Materiály a technologie pro elektrotechniku (MTE)

doc. Ing. **Radek Polanský**, Ph.D.

rpolansk@ket.zcu.cz

EK 403

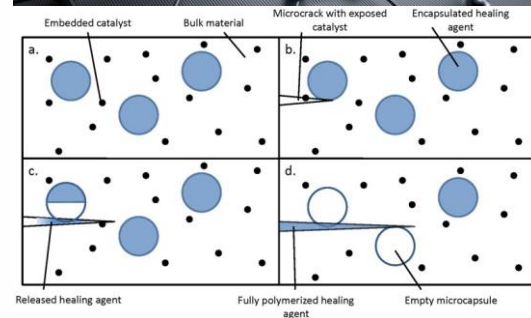
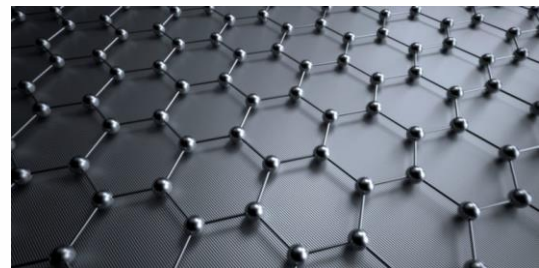
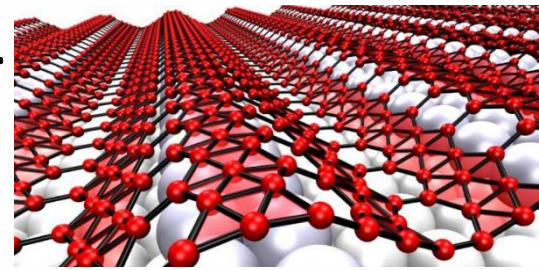


EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MSMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

NOVÉ MATERIÁLY A TECHNOLOGIE V ELEKTROTECHNICE

- Alternativní zdroje energie a jejich začlenění do rozvodné sítě (výroba, přenos a akumulace el. energie).
- Elektromobilita (baterie na bázi grafenu, borofenu...).
- **H**igh **V**oltage **D**irect **C**urrent (HVDC) přenos. el. energie (kabely, podmořské kabely, HVDC měniče...).
- Materiály šetrné k živ. prostředí (biodegradabilní oleje, přírodní a recyklovatelné polymerní materiály...).
- Nanotechnologie a nanomateriály.
- Funkční materiály.
- Samoléčitelné materiály.



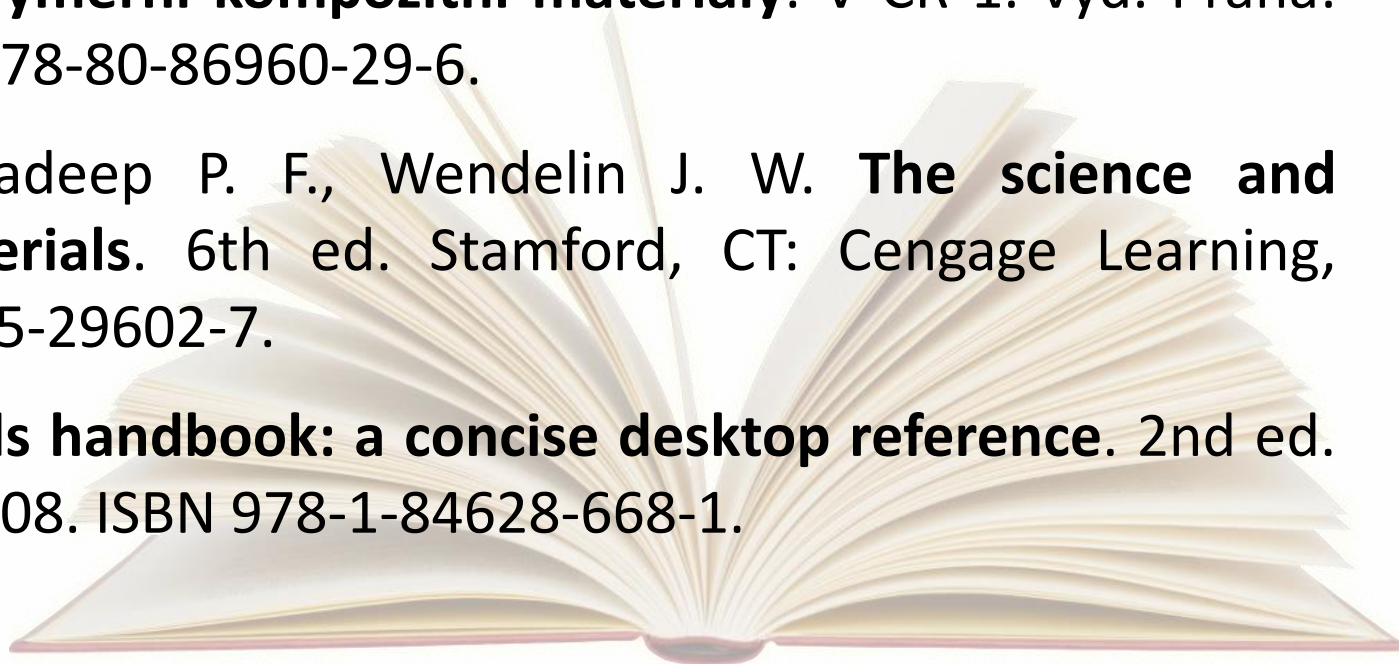
PŘEHLED LÁTKY

1. Materiály a technologie pro elektrotechniku
2. Základní látkové systémy a jejich vlastnosti
3. Vodivé materiály pro elektrická zařízení
4. Speciální elektricky vodivé materiály – 1. část
5. Speciální elektricky vodivé materiály – 2. část
6. Polovodičové materiály pro elektrotechniku (*doc. Blecha*)
7. Elektroizolační materiály a jejich aplikace v elektrických zařízeních
8. Polymerní materiály
9. Materiály pro kabelovou techniku
10. Polymerní kompozitní materiály
11. Konstrukční materiály pro elektroniku (*doc. Blecha*)
12. Materiály pro magnetické obvody elektrických zařízení
13. Perspektivní materiály pro elektrotechniku



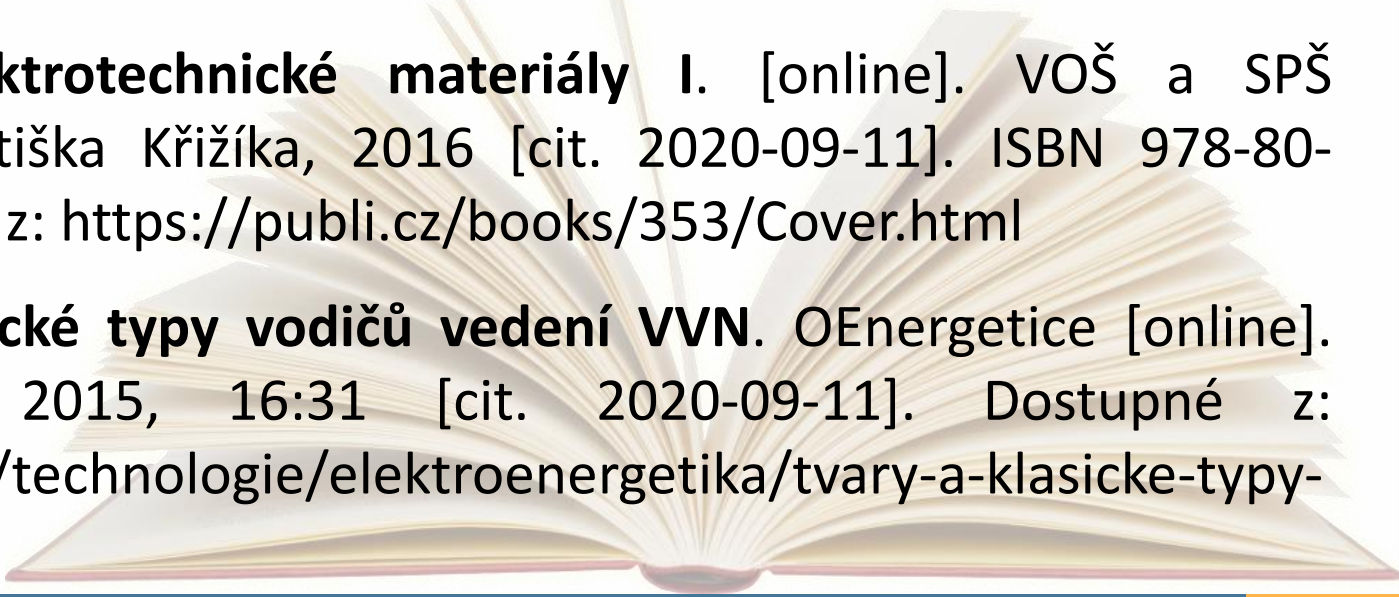
STUDIJNÍ A DOPORUČENÁ LITERATURA

1. Bouda, V., Hampl, J., Lipták, J., Sedláček, J. **Materiály pro elektrotechniku**. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2000. ISBN 80-01-02232-3.
2. Kučerová, E. **Elektrotechnické materiály**. Plzeň: Západočeská univerzita, 2002. ISBN 80-7082-940-0.
3. Mleziva, J. **Polymery - výroba, struktura, vlastnosti a použití**. Druhé přepr. vyd. Praha: Sobotáles, 2000. ISBN 80-85920-72-7.
4. Ehrenstein, G. W. **Polymerní kompozitní materiály**. V ČR 1. vyd. Praha: Scientia, 2009. ISBN 978-80-86960-29-6.
5. Askeland, D. R., Pradeep P. F., Wendelin J. W. **The science and engineering of materials**. 6th ed. Stamford, CT: Cengage Learning, c2011. ISBN 978-0-495-29602-7.
6. Cardarelli, F. **Materials handbook: a concise desktop reference**. 2nd ed. London: Springer, c2008. ISBN 978-1-84628-668-1.



VYBRANÉ (UCELENĚJŠÍ) ON-LINE ZDROJE POUŽITÉ K PŘÍPRAVĚ NĚKTERÝCH PŘEDNÁŠEK

1. Drápala, J. **Materiály pro elektrotechniku**: učební text [online]. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2013 [cit. 2020-09-11]. ISBN 978-80-248-3380-4. Dostupné z: http://katedry.fmmi.vsb.cz/Modin_Animace/Opory/03_Materialov%C3%A9_inzenyrstvi/08_Materialy_pro_elektrotechniku/Drapala_Materialy_pro_elektrotechniku.pdf
2. Hofmann, J.; Urbanová, M. **Fyzika 1**: elektronická verze učebního textu pro bakalářský stupeň strukturovaného studia [online]. Verze 1.0. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2005 [cit. 2020-09-11]. Dostupné z: http://147.33.74.135/knihy/uid_ekniha-001/pdf/001.pdf
3. Mudruňková, A. **Elektrotechnické materiály I.** [online]. VOŠ a SPŠ elektrotechnická Františka Křižíka, 2016 [cit. 2020-09-11]. ISBN 978-80-88058-90-8. Dostupné z: <https://publi.cz/books/353/Cover.html>
4. Šmíd, J. **Tvary a klasické typy vodičů vedení VVN**. OEnergetice [online]. 2015, 15. červen 2015, 16:31 [cit. 2020-09-11]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/technologie/elektroenergetika/tvary-a-klasicke-typy-vodicu-vedeni-vvn>



VYBRANÉ (UCELENĚJŠÍ) ON-LINE ZDROJE POUŽITÉ K PŘÍPRAVĚ NĚKTERÝCH PŘEDNÁŠEK

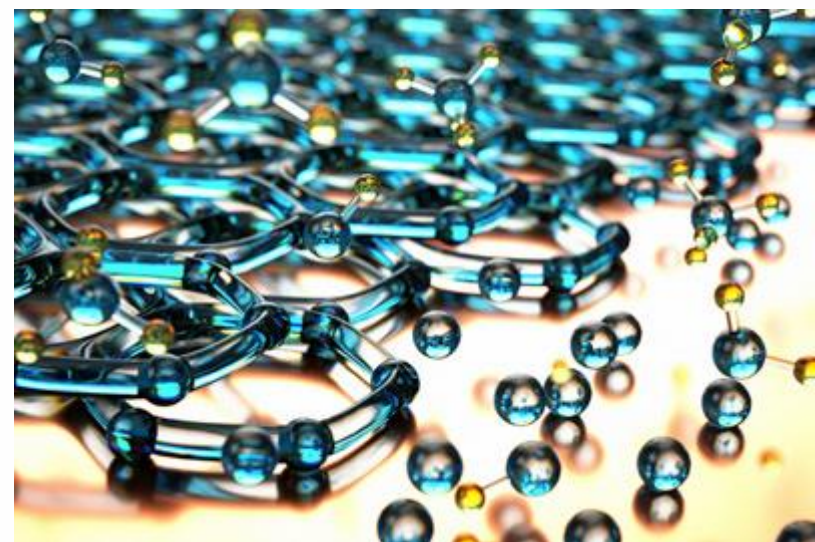
5. Prnka, T.; Šperlink, K. **Šestý rámcový program evropského výzkumu a technického rozvoje: nanotechnologie** [online]. Ostrava: Repronis, 2004. ISBN 80-7329-070-7. Dostupné z: <http://www.nanotechnologie.cz/storage/nanotechnologie6.pdf>
6. Běhálek, L. **Polymery** [online]. Střední odborné učiliště Svitavy, 2015 [cit. 2020-09-11]. ISBN 978-80-88058-68-7. Dostupné z: <https://publi.cz/books/180/Cover.html>

Text přednášek byl sestaven pouze pro **nekomerční studijní potřeby** studentů navštěvujících FEL ZČU v rámci předmětu ***Materiály a technologie pro elektrotechniku (MTE)***. Žádná část souboru přednášek č. 1 až 13 nesmí být reprodukována, ukládána do vyhledávacího systému nebo přenášena v jakékoli formě nebo jakýmkoli prostředky, elektronicky, mechanicky, fotokopírováním, nahráváním, skenováním nebo jinak, bez svolení autora.



1

MTE – základní úvod do problematiky



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

MŠMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Co se v přednášce dozvíte?

- DOZVÍTE SE, CO JE TO MATERIÁLOVÉ INŽENÝRSTVÍ.
- UKÁŽEME SI, CO JE TŘEBA PŘI VÝVOJI NOVÝCH MATERIÁLŮ VZÍT V ÚVAHU.
- ZJISTÍTE, JAK JE PESTRÁ NABÍDKA MATERIÁLŮ, KTERÉ NÁS KAŽDODENNĚ OBKLOPUJÍ.
- DOZVÍTE SE, JAKÉ VLASTNOSTI MATERIÁLŮ ROZHODUJÍ O JEJICH REÁLNÉ APLIKACI.
- ZJISTÍTE, JAK VNITŘNÍ STRUKTURA A VNĚJŠÍ PROSTŘEDÍ OVLIVŇUJE VLASTNOSTI MATERIÁLŮ.
- PRAKTICKY SI UKÁŽEME, CO VŠE LZE O MATERIÁLECH ZJISTIT POMOCÍ MODERNÍCH METOD DIAGNOSTIKY.



1.1 Materiálové vědy a inženýrství

1.1.1 Definice základních pojmů

Materiálové vědy a inženýrství je interdisciplinární obor věnující se **vývoji nových a vylepšování stávajících materiálů** skrze prohlubování poznatků o jejich *struktuře/mikrostruktuře, složení, syntéze a zpracování*.

Složení poukazuje na **chemické složení** materiálu.

Struktura je popisem **uspořádání atomů** na různých **úrovních detailu**.

Syntéza označuje, jak jsou **materiály vyráběny** z přirozeně se vyskytujících nebo syntetických chemických látek.

Zpracování značí, jak jsou materiály **tvarovány do výrobků** a pojem **technologie** označuje **konkrétní způsob zpracování daného materiálu**.

V **materiálových vědách** je kladen důraz na **základní vztahy** mezi *syntézou, zpracováním, strukturou a vlastnostmi* a v **materiálovém inženýrství** na to, jak lze materiály **zpracovávat do užitečných zařízení** nebo **materiálových struktur**.

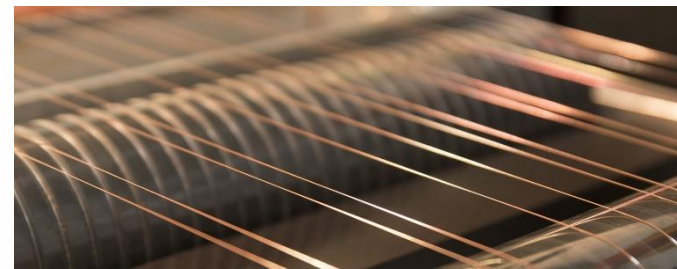


1.1.2 Vztah mezi strukturou a vlastnostmi materiálů

Struktura materiálů má **zásadní vliv** na mnoho vlastností materiálů, i když se jejich celkové **chemické složení** nemění.

Příklad: Opakovaným **ohýbáním čistého měděného drátu** dosáhneme **zvýšení jeho tvrdosti, elektrického odporu**, ale také **křehkosti**. Nakonec se stane tak tvrdým a křehkým, že se **velmi snadno zlomí**. To vše při zachování **stejného chemického složení**.

Příčinou změn vlastností materiálů jsou změny jejich **mikrostruktury**.



Dokážeme-li porozumět tomu, co se změnilo na mikrometrické úrovni, můžeme začít objevovat způsoby, jak ovládat vlastnosti materiálu.

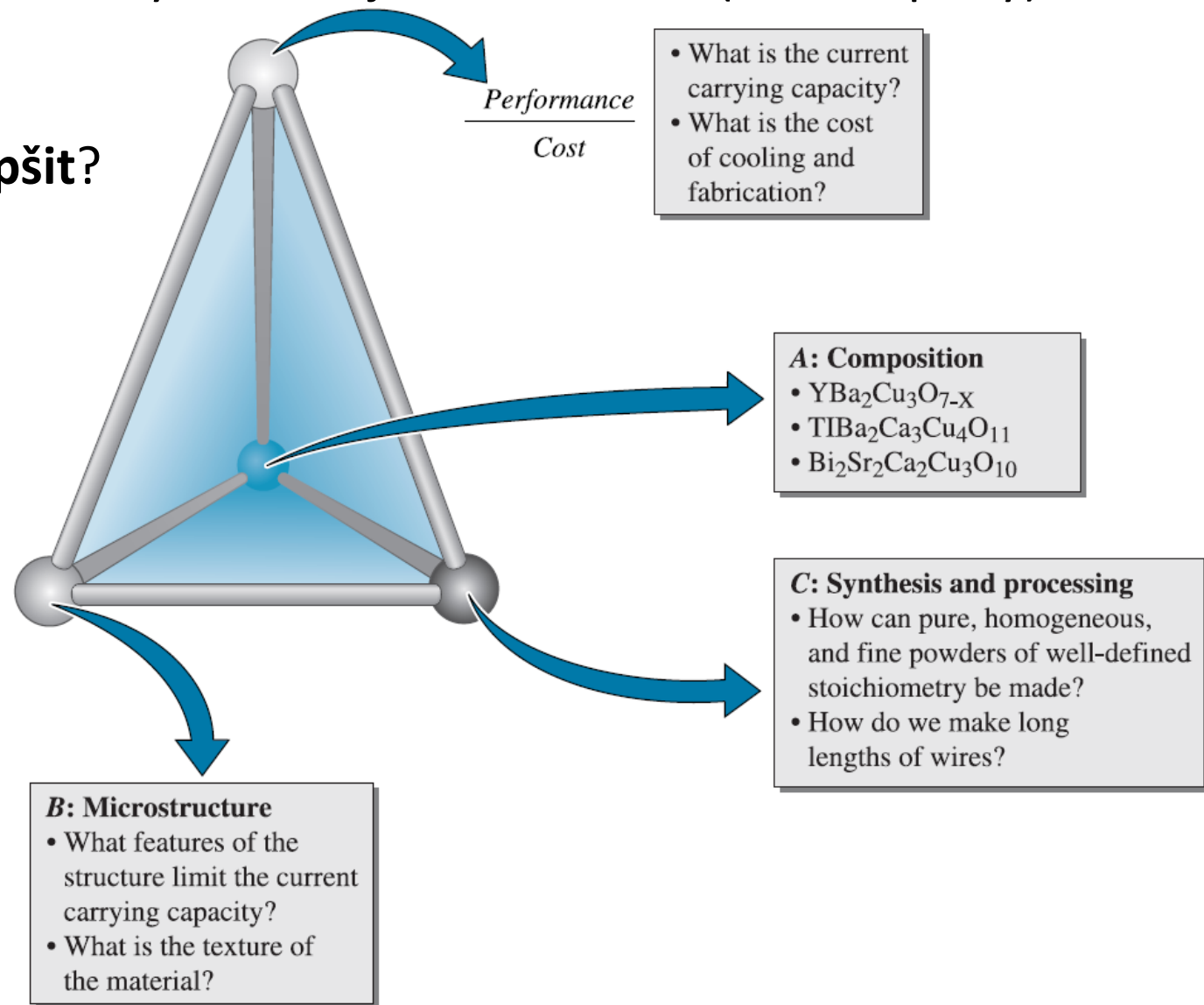
1.1.3 Vývojový tetraedr – výzkum a vývoj keramických supravodičů

1. **Objev supravodivosti** některých keramických sloučenin na bázi *oxidů mědi yttria barnatého* (YBCO) za určitých limitujících okolností (nízké teploty).

2. Jak tyto materiály **vylepšit**?

3. **Optimalizace složení, mikrostruktury, syntézy a zpracování.**

4. **Optimalizace poměru cena/výkon.**

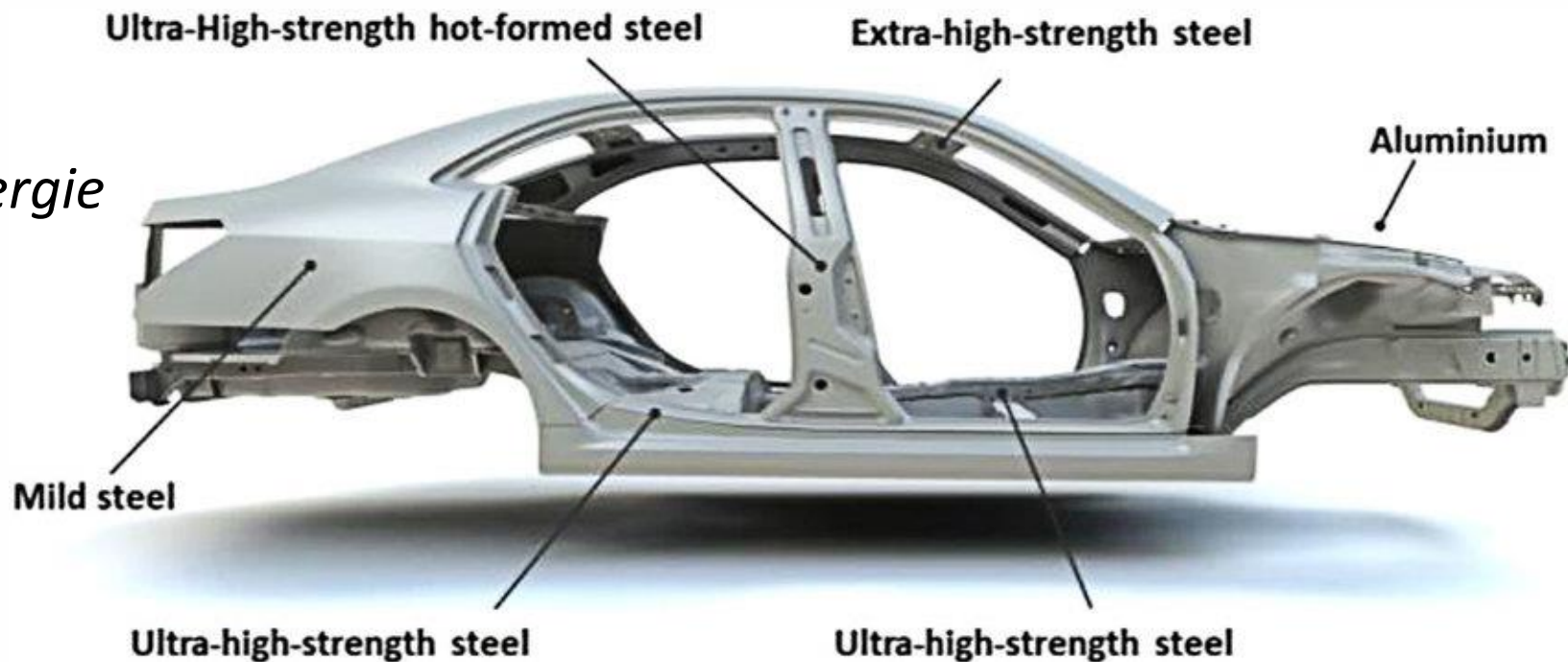


1.1.4 Vývojový tetraedr – ocelové plechy pro automobilový průmysl

Požadavky: extrémně vysoká **pevnost**, snadná **formovatelnost**, **lehkost** (úspora paliva), schopnost **absorbovat značné množství energie** v případě nehody (bezpečnost vozu) => v některých případech se jedná o velmi **protichůdné požadavky**.

Zabýváme se tedy:

1. *Složením*
2. *Pevností*
3. *Hustotou*
4. *Absorpcí energie*
5. *Tvárností*
6. **Cenou**



1.1.5 Vývojový tetraedr – elektroizolační mater. pro turbogenerátory

Požadavky: extrémně nízké **dielektrické ztráty** (vysoká účinnost stroje), vysoká **elektrická pevnost**, vysoká **tepelná vodivost** (odvod ztrátového tepla ze stroje), odolnost vůči **mechanickým rázům** a **částečným výbojům**, výborná **zpracovatelnost**, **skladovatelnost**, dlouhodobá **provozní spolehlivost**, nízký dopad na **životní prostředí** či **lidské zdraví**.

Zabýváme se tedy:

1. *Složení*
2. *Dielektrickými vlastnostmi*
3. *Mechanickými vlastnostmi*
4. *Termo-fyzikálními vlastnostmi*
5. *Životnostními zkouškami*
6. ...
7. ...
8. **Cenou**



1.2 Klasifikace materiálů

1.2.1 Klasifikace materiálů dle složení

1. **Kovy a slitiny** – železo, neželezné kovy a jejich slitiny.
2. **Keramiky a skla** – materiály na bázi jílových minerálů, živců, oxidu křemičitého, hlinitého,..., uhličitánů hořečnatého a vápenatého, nitridů křemíku a boru, karbidu křemíku, grafitu aj.; **skla** – materiály vyráběné především z oxidu křemičitého, uhličitánů vápenatého, sodného a draselného, oxidu olovnatého, barnatého, halogenidů, chalkogenidů, organických sloučenin aj.; **anorganická pojiva** – cement, vápno, sádra aj.
3. **Polymery** – **plasty** (**termoplasty** a **reaktoplasty**) a **kaučuky** – obecně jsou polymerní materiály především na bázi organických sloučenin uhlíku.
4. **Polovodiče** – látky s el. vodivostí závislou na vnějších nebo vnitřních podmínkách – křemík, germanium, selen, sloučeniny jako arsenid galia aj.
5. **Kompozitní materiály** – dvou- či vícesložkové **heterogenní materiály**, v nichž je jedna složka spojitá – tzv. **matrice**, a druhá složka je vyztužujícím elementem (**nosnou složkou**).

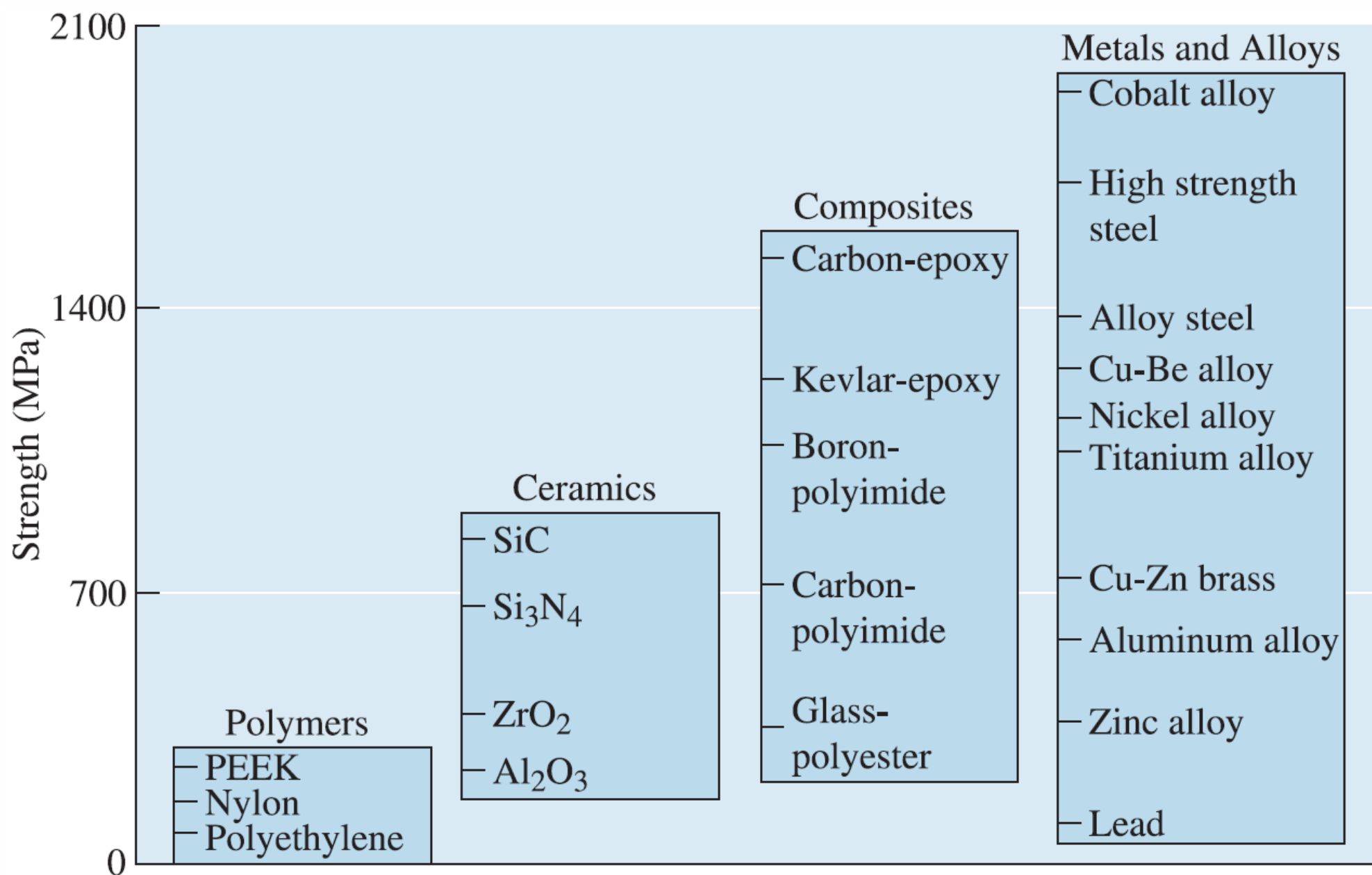


Kategorie/zástupce	Využití	Vlastnosti
Kovy a slitiny		
<i>Měď</i>	Elektrické vodiče	Vysoká elektrická vodivost, tvárnost.
<i>Šedá litina</i>	Bloky motorů	Slévatelnost, obrobitelnost, tlumení vibrací.
<i>Legovaná ocel</i>	Nářadí, podvozky aut	Tepelným zpracováním lze výrazně zvýšit pevnost.
Keramiky a skla		
SiO_2-Na_2O-CaO	Okenní skla	Opticky transparentní, tepelně izolační.
Al_2O_3, MgO, SiO_2	Žáruvzdorné materiály pro zpracování roztavených kovů	Tepelně izolační, odolné vůči vysokým teplotám.
<i>Titaničitan barnatý</i>	Kondenzátory pro mikroelektroniku	Schopnost vázat el. náboj.
<i>Oxid křemičitý</i>	Optická vlákna	Nízké optické ztráty, vysoký index lomu.



Kategorie/zástupce	Využití	Vlastnosti
Polymery		
<i>Polyetylen</i>	Kabelová technika, obalové materiály	Elektroizolační, lehce zpracovatelný do tenkých a vzduchotěsných filmů.
<i>Epoxidové pryskyřice</i>	Zapouzdření integrovaných obvodů	Elektroizolační a odolné vůči vlhkosti.
Polovodiče		
<i>Křemík</i>	Tranzistory, integrované obvody	Unikátní elektrické chování.
<i>Arsenid galia (GaAs)</i>	Optoelektronické systémy	Převádí el. signály na světlo; lasery, laserové diody.
Kompozity		
<i>Epoxid/grafit (vločky)</i>	Komponenty pro letecký průmysl	Vysoká pevnost a nízká hmotnost.
<i>Karbid wolfram-kobaltu</i>	Řezné nástroje	Vysoká tvrdost, odolnost proti rázům.





1.2.2 Klasifikace materiálů dle funkce



Letectví – lehké konstrukční materiály jako *dřevo, slitiny hliníku, uhlíkové kompozity* aj.

Biomedicínské – *plasty, slitiny titanu a nemagnetické nerezové oceli* pro výrobu náhrad **kostí, ortodontických výztuh** či **kardiovaskulárních stenů**.

Elektrotechnika – *polovodivé materiály, dielektrické materiály, izolační materiály, supravodiče, vodivé materiály* pro **přenos el. energie** aj.

Energetika – *oxid uraničitý a plutonium (palivo pro jadernou energetiku); sklo, nerezová ocel* a řada dalších materiálů nutných pro **nakládání s jaderným odpadem**; *polymery, oxid zirkoničitý, lithium, grafen* a jiné materiály pro **baterie** a **palivové články**; *zeolity a oxid hlinitý* jakožto **nosiče katalyzátorů** (*oxidů kobaltu, molybdenu, niklu...*) pro **krakování** (rozklad uhlovodíků s delším řetězcem) **v ropném průmyslu** atd.

Magnetické materiály – *magneticky měkké oceli* na bázi **železa** a **křemíku** pro **magnetická jádra transformátorů**, *magneticky tvrdé slitiny* na bázi **AlNiCo, CuNiFe**, **permanentní magnety** na bázi **vzácných zemin**: *samarium-kobalt (SmCo), neodým-železo-bor (NdFeB)* aj.



Fotonika/optické materiály – *oxid křemičitý* na výrobu **optických vláken**, **polovodičových detektorů** a **laserů**. *Oxid hlinitý (Al_2O_3)* taktéž pro výrobu **laserů**. *Krystalický a amorfni křemík* pro výrobu **solárních článků** a **fotovoltaických panelů**. *Polymery* používané pro výrobu **displejů z tekutých krystalů** (*Liquid Crystal Display, LCD*).

Smart materiály – **inteligentní (chytré) materiály** vnímají a reagují na vnější podněty jako je např. *změna teploty, vlhkosti, povahy chemického prostředí* nebo *mech. zatížení*. Obvykle jsou složeny ze **senzorů** a **akčních členů**, které čtou a iniciují **reakci materiálu** na **daný podnět**. Může se jednat např. **piezoelektrika**: *zirkoničitan-titaničitan olovnatý* (*Lead Zirconate Titanate, PZT*), **slitiny s tvarovou pamětí** nebo **magnetoreologické kapaliny** (např. pro tlumiče do aut).

Konstrukční materiály – *oceli, beton* a různé druhy *kompozitů* pro **konstrukci budov, mostů** aj. *Oceli, skla, plasty* a *kompozity* pro **výrobu automobilů**. V těchto aplikacích je vždy nutné dosáhnout odpovídající *pevnosti, tuhosti* a *houževnatosti* za různých provozních teplot a zatížení.



1.2.3 Klasifikace materiálů dle struktury

1. Krystalické materiály – charakteristické **pravidelným uspořádáním částic** (*atomů, molekul, iontů*), z nichž jsou složeny.

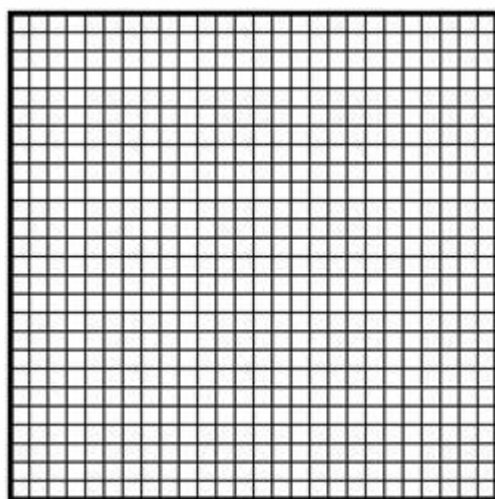
Monokrystaly – částice uspořádány tak, že se **jejich rozložení v prostoru periodicky opakuje** (*NaCl, SiO₂, diamant...*). Mají tzv. **dalekodosahové uspořádání** a **pravidelný geometrický tvar**. Jejich typickou vlastností je **anizotropie**, tj. některé jejich fyzikální **vlastnosti jsou závislé na směru** vzhledem ke stavbě krystalu (např. štípání slídy nebo křemene v určitých rovinách jde mnohem snáze než ve směrech jiných).

Příklady v elektrotechnice: *piezoelektrika, krystalický křemík, slída.*

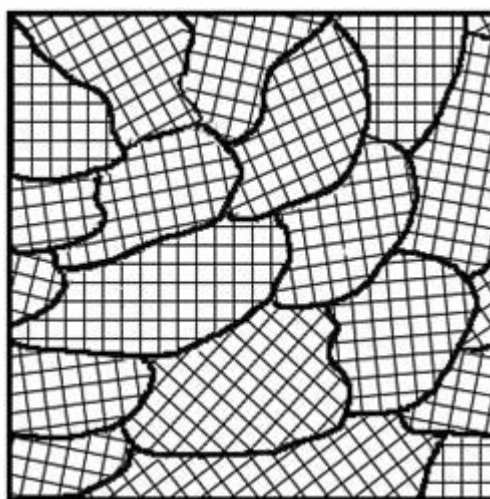
Polykrystaly – **většina pevných látek** (např. všechny kovy). Jedná se o **mnoho různě orientovaných drobných krystalů**, tzv. **zrn** s velikostí od 10 μm do několika mm. **Uvnitř zrn jsou částice pravidelně uspořádány**. Rozhraní mezi zrny tvoří tzv. **hranice zrn**. Polykrystalické látky jsou **izotropní**, tj. mají **ve všech směrech stejné vlastnosti**.

Příklady v elektrotechnice: *keramika, některé termoplasty (PE, PP, PA a další).*





a)

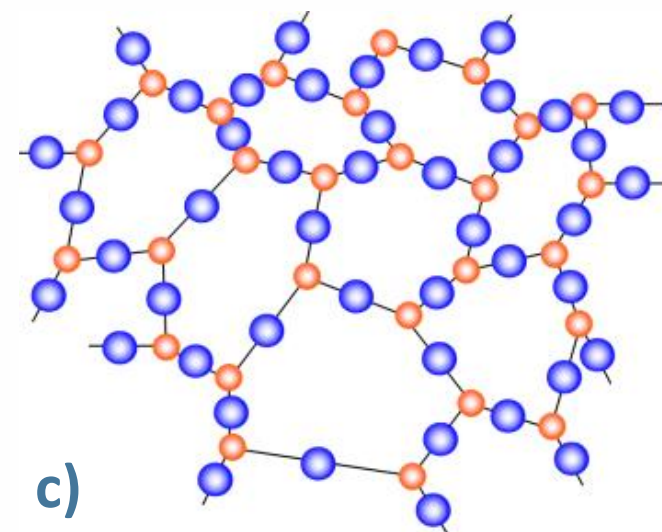


b)

- a) Monokrystaly
- b) Polykrystaly
- c) Amorfnní struktura

2. Amorfnní materiály – periodické uspořádnání částic je omezeno na vzdálenost do zhruba 10^{-8} m, na větších vzdálenostech je pravidelnost uspořádnání porušena. Vyznačují se **krátco-dosahovým uspořádnáním**.

Příklady v elektrotechnice: *sklo, skleněná tkanina, některé termoplasty (PS, PMMA, PC aj.), reaktoplasty a elastomery.*



c)

1.3 Vlivy vnějšího prostředí a provozu

1.3.1 Vliv teploty

Změny teploty dramaticky mění vlastnosti použitých materiálů. Je to důsledkem **změny vazebních sil** způsobené **většími rozkmity atomů** v uzlových bodech mřížky s rostoucí teplotou.

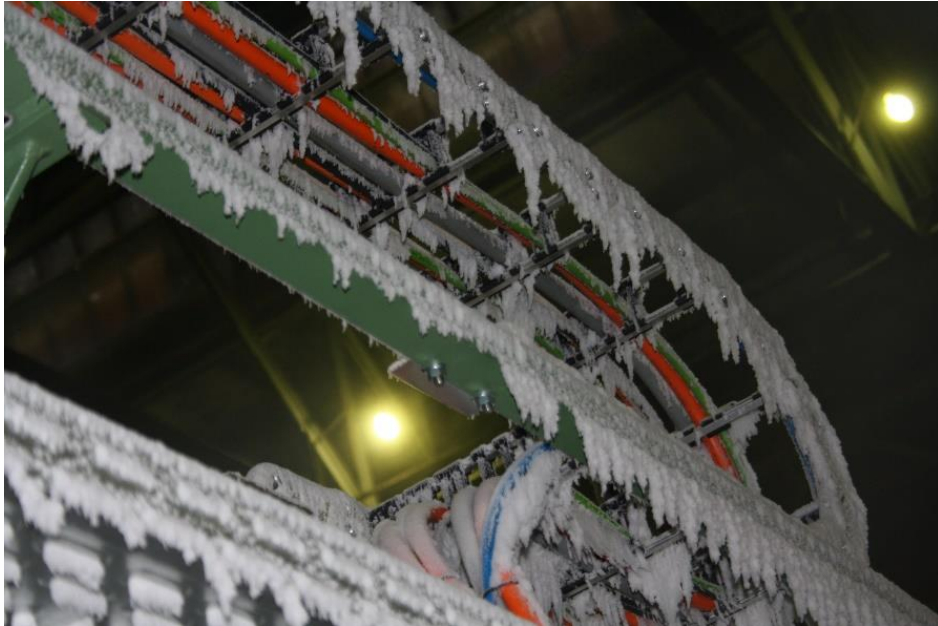
Kovy a slitiny, jejichž nominálních vlastností bylo dosaženo **tepelnými úpravami**, ztrácí při nárůstu provozní teploty nad určitou **kritickou mez** svoji **mechanickou pevnost**.

Vysoké teploty způsobují **měknutí** a **tavení termoplastů**, **tepelnou degradaci** (chemický rozklad) **reaktoplastů**, **mění strukturu keramiky** apod.

Velmi nízké teploty zvyšují **křehkost** materiálů.

Změny teploty způsobují **dilatace materiálu** (změna velikosti rozměrů materiálu), **rosení** popř. **vysoušení povrchu materiálu**, **kondenzaci vlhkosti**.

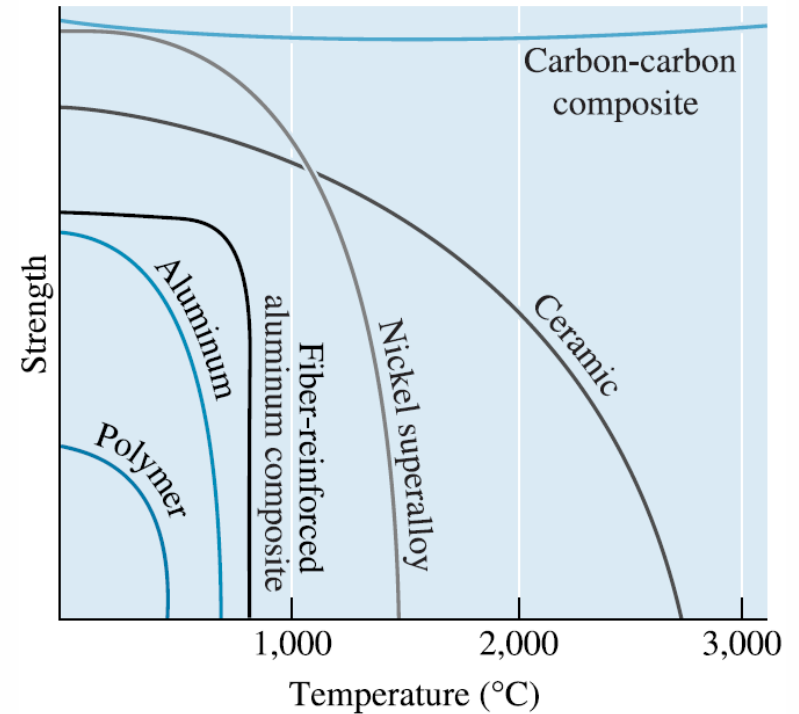




1.3.2 Vliv vlhkosti

Působením **vlhkosti** a **vody** se **elektrické vlastnosti** většiny materiálů **zhoršují**. U izolantů **klesá povrchový i vnitřní odpor a el. pevnost**. Naproti tomu **roste permitivita a dielektrické ztráty**. Hlavním zdrojem vlhkosti je **atmosféra**. Ve vzduchu je za obvyklých podmínek vždy určité množství vodních par.

Vodní pára způsobuje **sorpci vody na povrchu, difúzi do hmoty**, může vyvolat **bobtnání materiálu**, změnu **mechanických vlastností a struktury**, zhoršení **dielektrických vlastností**, podmiňuje **korozní napadení**.



Nedostatek vodní páry způsobuje **vysychání materiálu**, zhoršení jeho mechanických vlastností.

Atmosférické srážky způsobují **sorpci vody na povrchu**, její **difúzi do hmoty**, erozivní účinky.

1.3.3 Vliv slunečního záření

Energie záření roste s frekvencí, proto má největší účinky **ultrafialové záření** (vzniká také při výbojích). Pohlčená energie vyvolává **fotochemické děje**, které mohou probíhat i **po skončení ozařování**. Naproti tomu **infračervené záření** způsobuje **ohřev materiálu** na povrchu, což může aktivovat **tepelné stárnutí**.

1.3.4 Vliv průmyslového prostředí

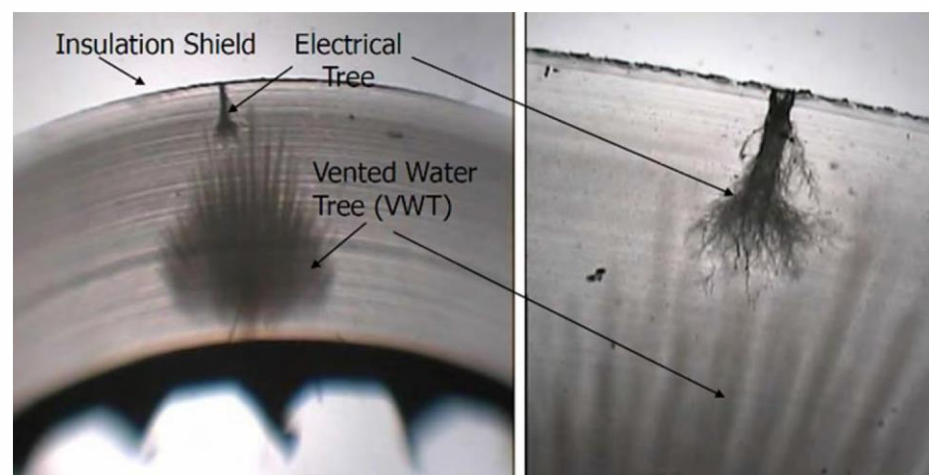
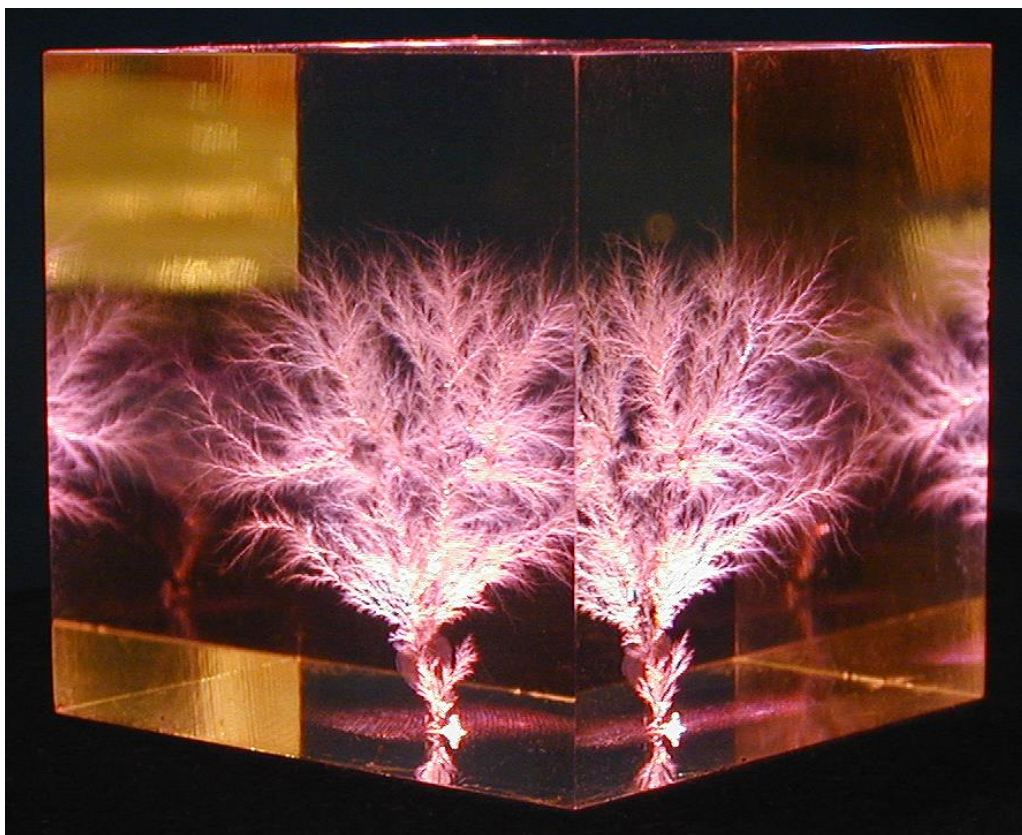
Jedná se zejména o vliv **atmosféry znečištěné různými exhalacemi** (spalování pevných paliv, doprava, průmyslová a zemědělská výroba, spalovny aj.).

Těmito vlivy vznikají: 1) **plyny, anorganické a organické látky** obsahující *deriváty síry a uhlovodíku, oxid uhličitý a uhelnatý, aldehydy, aromatické látky* a 2) **aerosoly** obsahující *částice tuhých a tekutých látek*.

1.3.5 Vlivy provozního prostředí

Jedná se zejména o:

- **mechanické namáhání** (vibrace, otěr, odstředivé síly, rázy...),
- **tepelné namáhání** (změny teploty, zvýšená či snížená teplota...),
- **elektrické namáhání** (proudové rázy, nadproudy, pulzní namáhání....).



1.4 Návrh a výběr materiálů

- Materiál musí mít **požadované fyzikální a mechanické vlastnosti**.
- Materiál musí být **možné zpracovat** nebo **vyrobit do požadovaného tvaru**.
- Při jeho návrhu i výrobě musí být kladen důraz na **ochranu životního prostředí**.
- Materiál musí být **navržen** a **vyroben** tak, aby byla (pokud možno) umožněna jeho (snadná) **recyklace**.
- Materiál a jeho výroba musí být **ekonomicky výhodná**.

K zamyšlení #1:

Náklady na materiál jsou obvykle počítány **v ceně za kilogram**, ovšem při návrhu vhodného materiálu musí být brána v potaz také jeho **hustota**, tedy faktor **přímo ovlivňující hmotnost**.

Například cena hliníku může být na kilogram vyšší než cena oceli, ale hliník má pouze **jednu třetinu její hustoty**. Pro konkrétní aplikaci tedy může být výhodnější použití dražšího, ale lehčího hliníku než levnější a těžší oceli.



Materiál	Pevnost (MPa)	Hustota (g/cm ³)	Poměr pevnosti / hmotnosti (cm)
Polyetylen	6,9	0,83	$8,43 \times 10^4$
Čistý hliník	44,6	2,71	$16,79 \times 10^4$
Al ₂ O ₃	206	3,16	66×10^4
Epoxid	103	1,38	$76,1 \times 10^4$
Tepelně ošetřená legovaná ocel	1 667	7,75	22×10^5
Tepelně ošetřená slitina hliníku	588	2,71	$22,1 \times 10^5$
Uhlík-uhlíkový kompozit	412	1,80	$23,3 \times 10^5$
Tepelně ošetřená slitina titanu	1 177	4,43	27×10^5
Kevlar-epoxidový kompozit	451	1,47	$31,3 \times 10^5$
Uhlík-epoxidový kompozit	549	1,38	$40,6 \times 10^5$

K zamyšlení #2:

V letectví je důležitým kritériem **hmotnost**, která výrazně ovlivňuje **náklady na palivo** a **omezuje dolet letadla**. Použitím lehkých, ale pevných materiálů dosáhneme značné úspory a zvýšíme dolet letadla => využití **lehkých kompozitních materiálů** s dobrým poměrem mezi pevností a hmotností (např. Boeing Dreamliner).



1.5 Materiálové charakteristiky

Materiálové charakteristiky vystihují **chování materiálu** za **specifických podmínek** daných např. *teplotou, tlakem, frekvencí a intenzitou el. pole, klimatickými vlivy, mechanickým namáháním...*

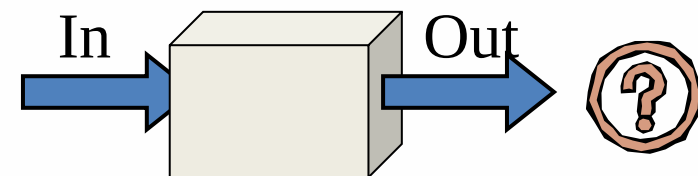
Vlastnosti materiálů jsou určeny jejich **chemickým složením, strukturou a vlivy vnějších podmínek**.

1.5.1 Fenomenologický a strukturální přístup k charakterizaci materiálů

Fenomenologický

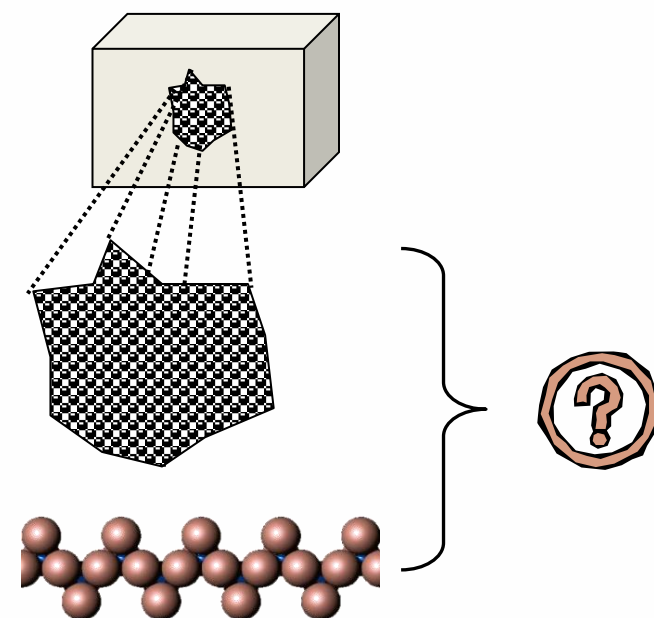
- pohlíží na systémy jako na „**černou skříňku**“,
- zjišťuje **vztahy mezi vnějším působením a odezvou**,
- **nebere zřetel na jevy, které se odehrávají uvnitř systému**.

Příklady: *měření rezistivity, el. pevnosti, relativní permitivity...*



Strukturální

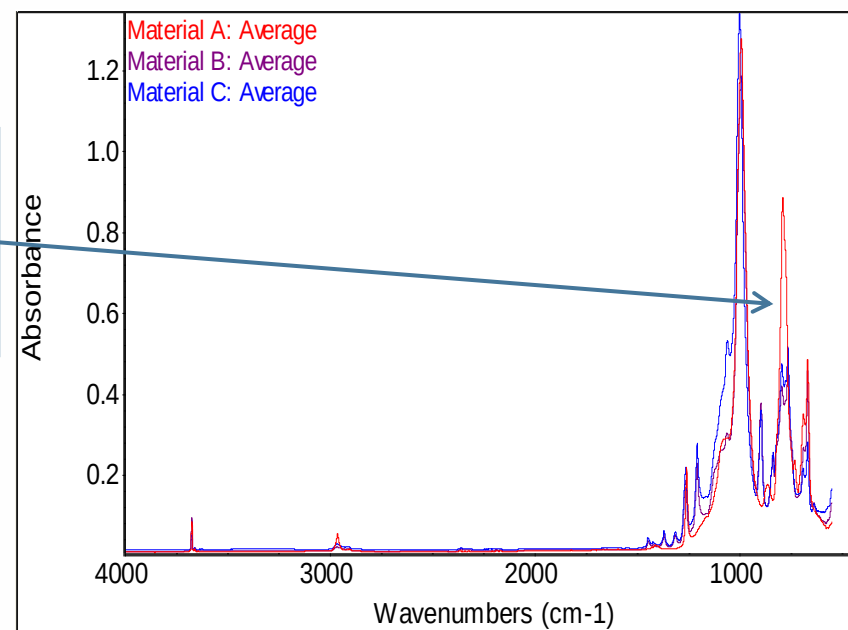
- zabývá se **příčinami změn** ve struktuře systému,
- popisuje systém z **vnitřního hlediska**,
- proniká **od jevu k jeho podstatě**,
- s jeho pomocí lze **lépe interpretovat informace** získané **fenomenologickým způsobem**.



Příklady: *infračervená spektroskopie, mikroskopie, rentgenová difrakce...*



Změny v procesu fluorace
(zušlechtění povrchu => odolnost vůči rozpouštědlům, změkčovadlům, křehnutí...)



1.5.2 Vlastnosti materiálů a jejich rozdělení

Fyzikální (např. *hustota, viskozita, povrchové napětí*).

Mechanické (např. *pevnost v tahu, modul pružnosti, mez kluzu, tvrdost, lomová houževnatost*).

Teplotní (např. *teplota tavení a varu, teplota skelného přechodu, tepelná vodivost, měrná tepelná kapacita, koeficient teplotní roztažnosti*).

Elektrické (např. *vnitřní a povrchová rezistivita, relativní permitivita, ztrátový činitel, elektrická pevnost*).

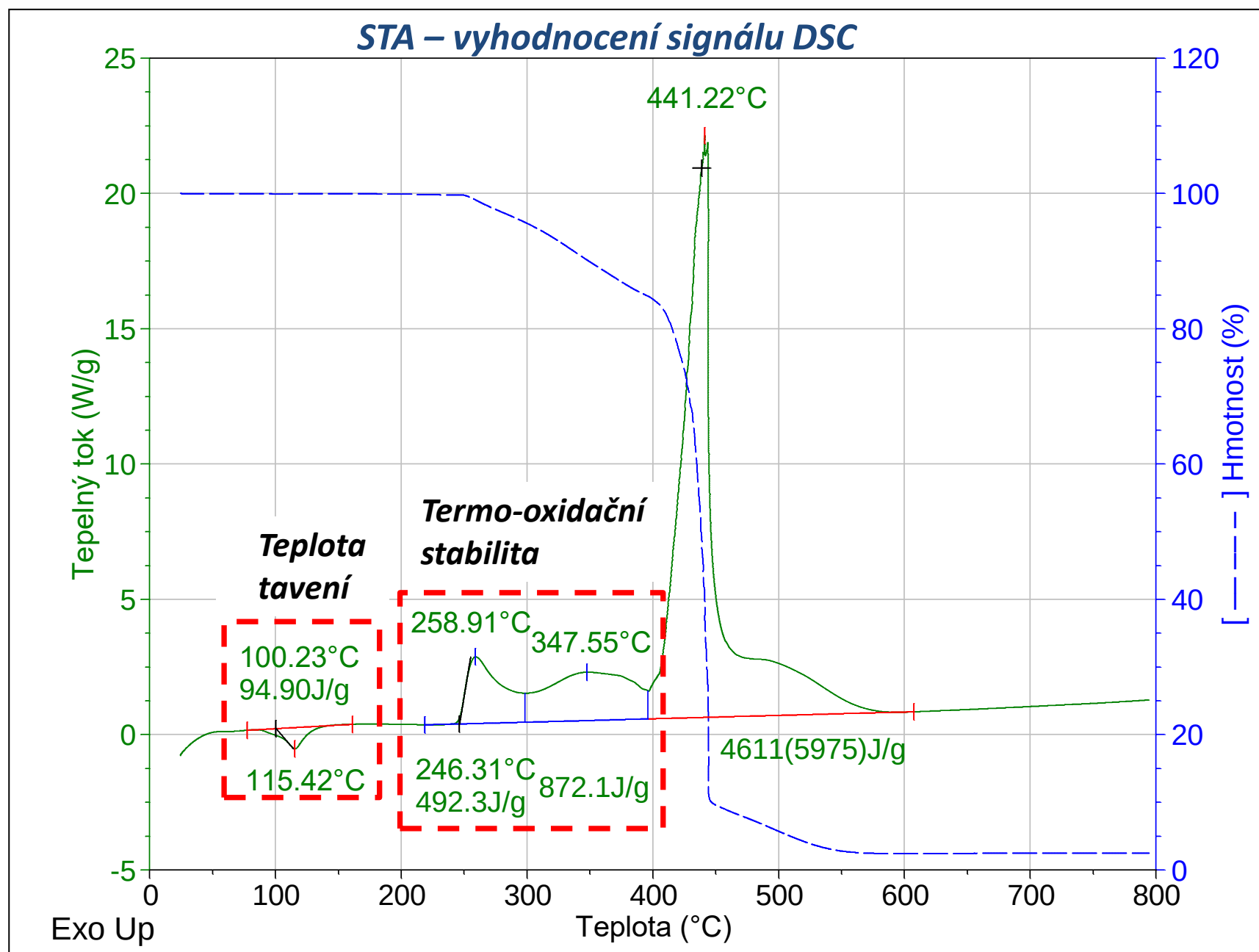
Magnetické (např. *permeabilita, koercitivita, remanence*).

Optické (např. *index lomu, index odrazu, činitel prostupu, činitel rozptylu*).

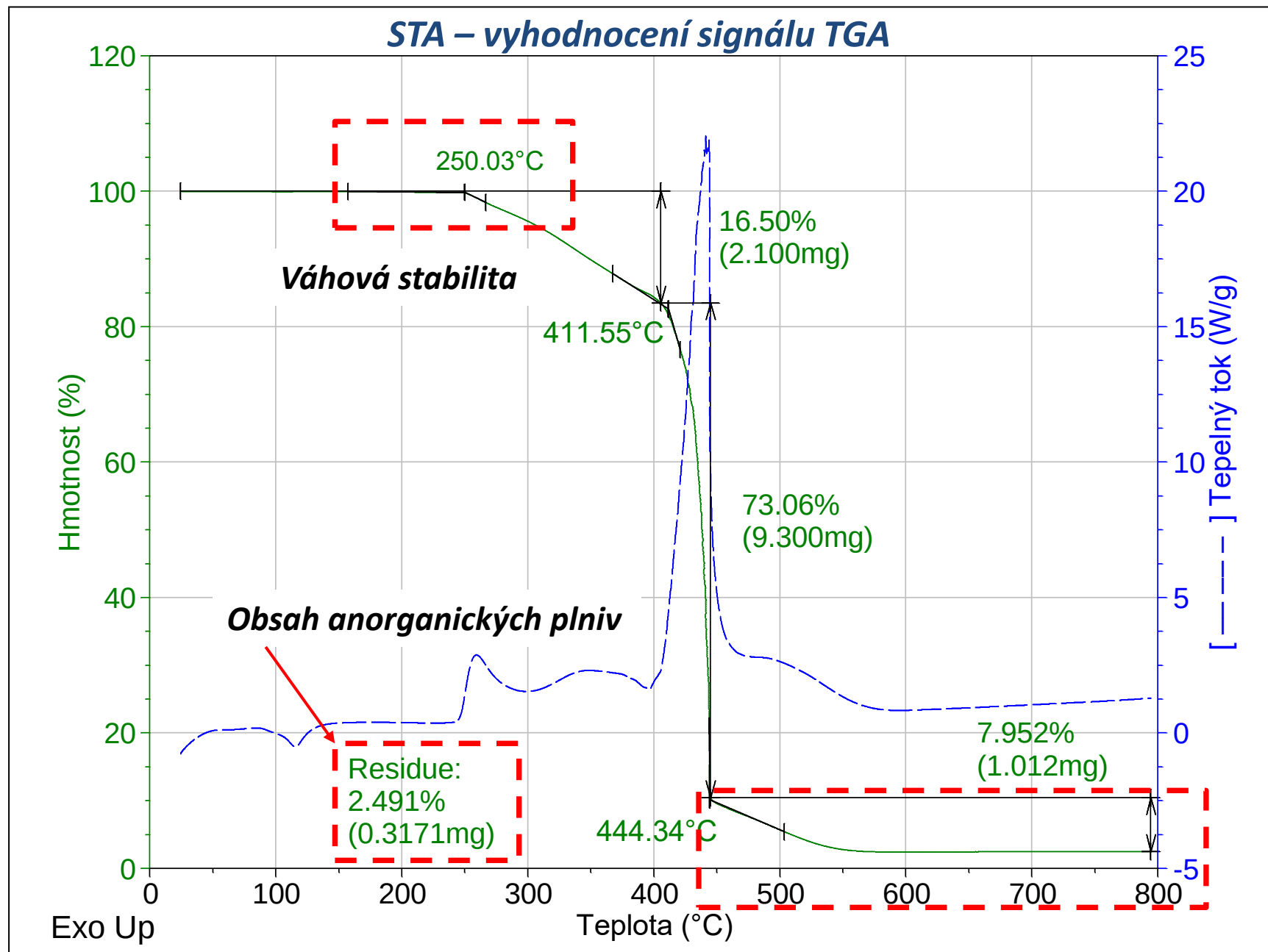
Elektrochemické (např. *elektroodový potenciál, polarizační křivky, polarizační odpor, korozní rychlost*).



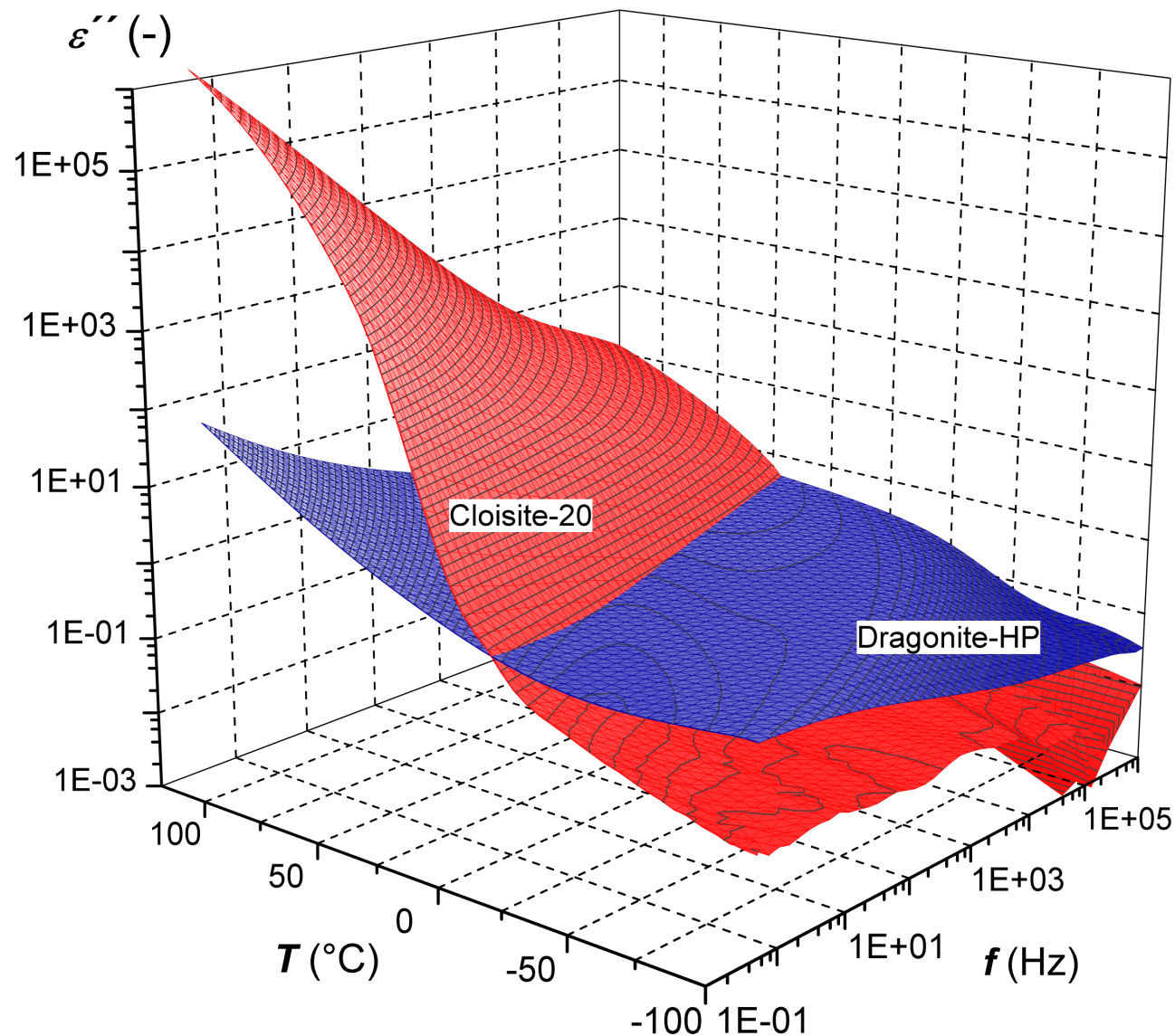
Ukázka – simultánní termická analýza síťovaného polyetylenu



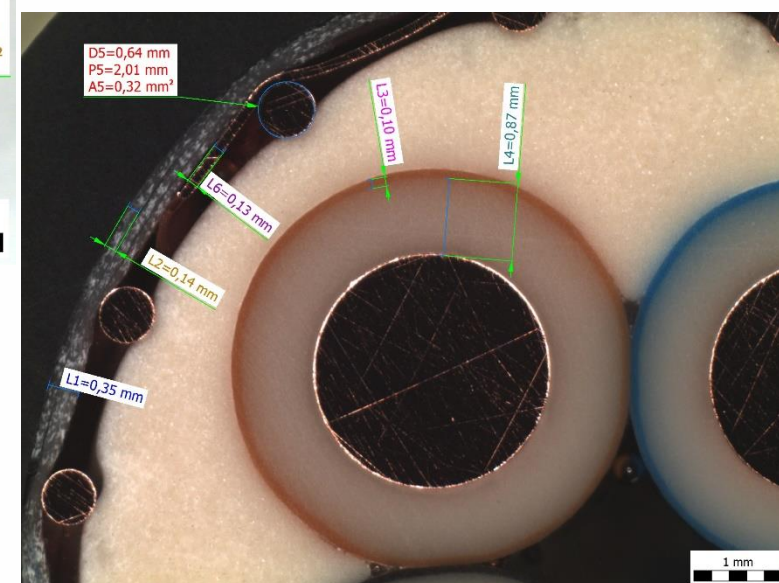
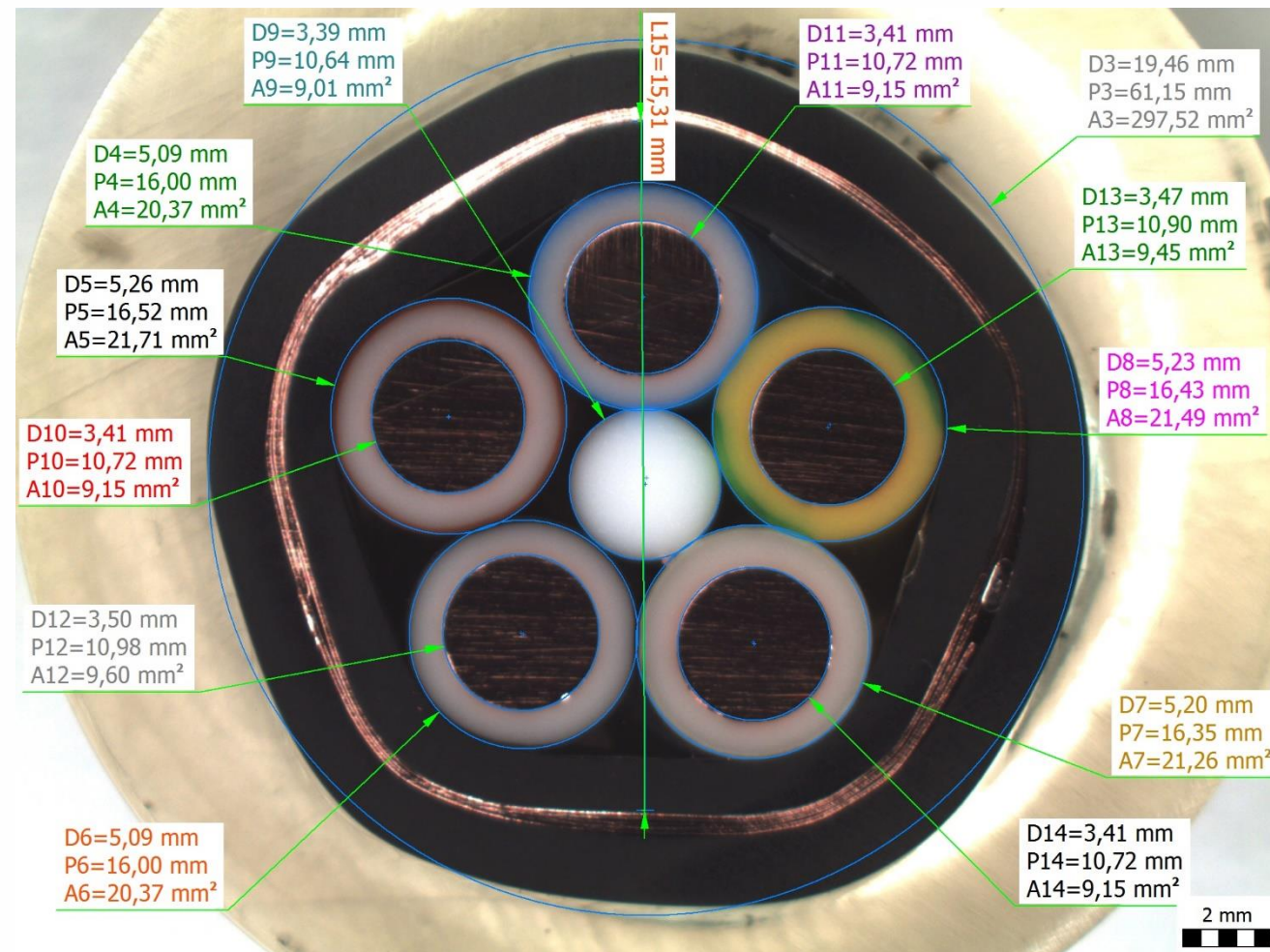
Ukázka – simultánní termická analýza síťovaného polyetylenu



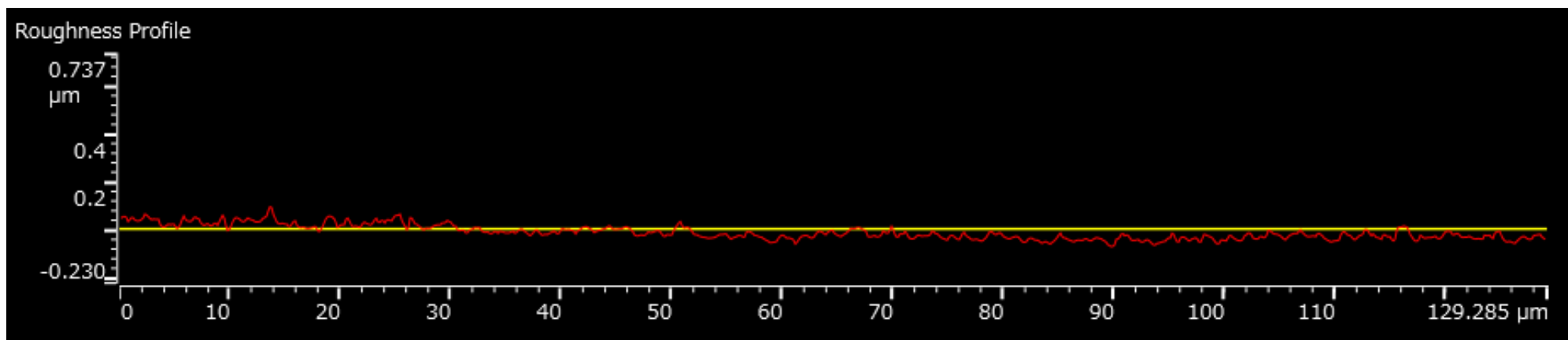
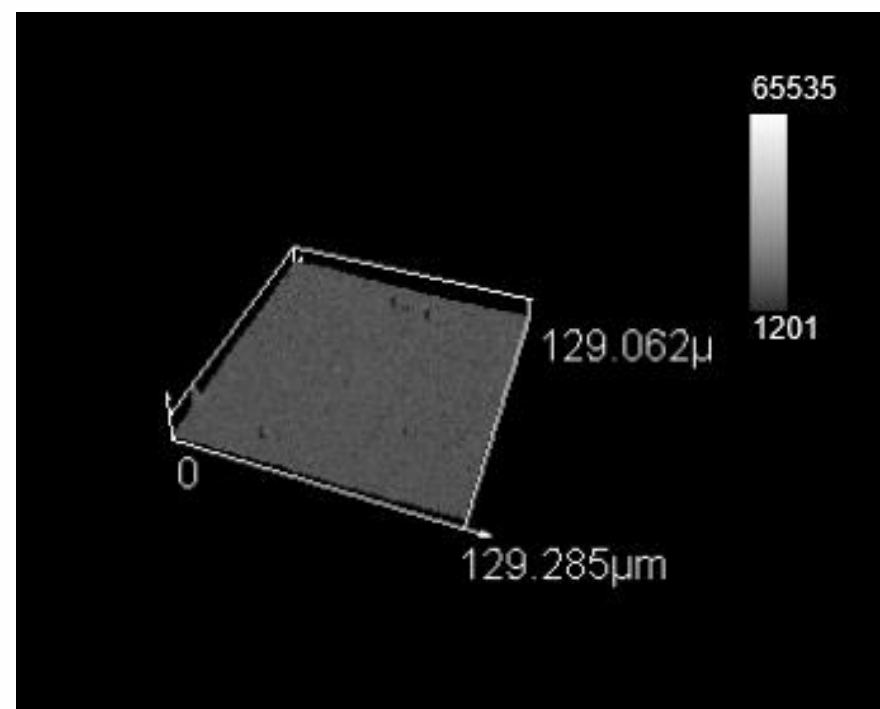
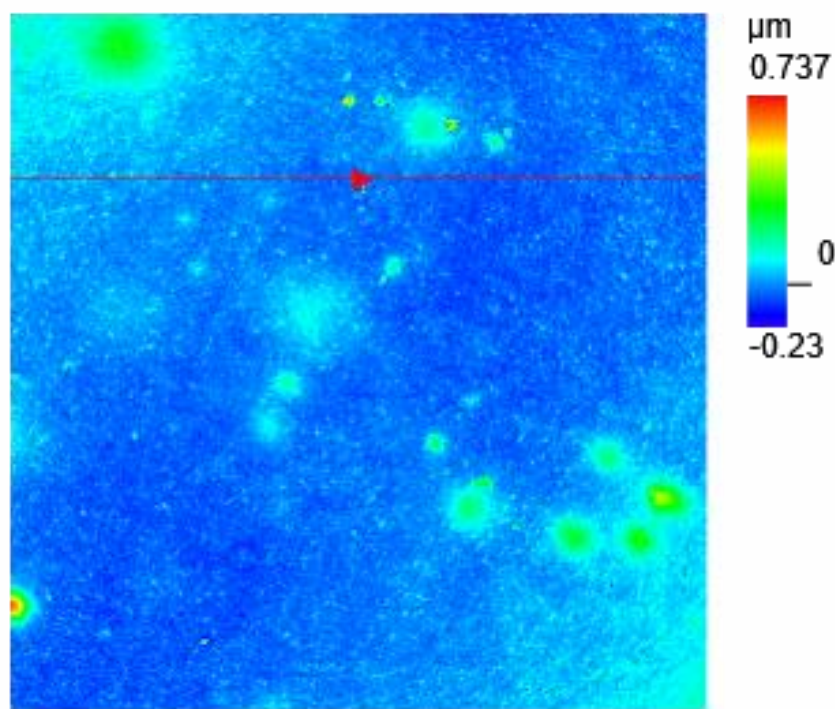
Ukázka – širokopásmová dielektrická spektroskopie



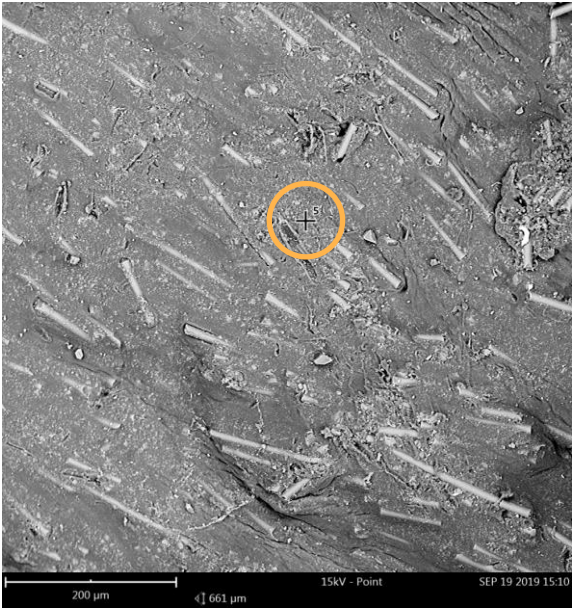
Ukázka – měření geometrických rozměrů konstrukčních prvků kabelu



Ukázka – měření drsnosti povrchu folie z Kaptonu



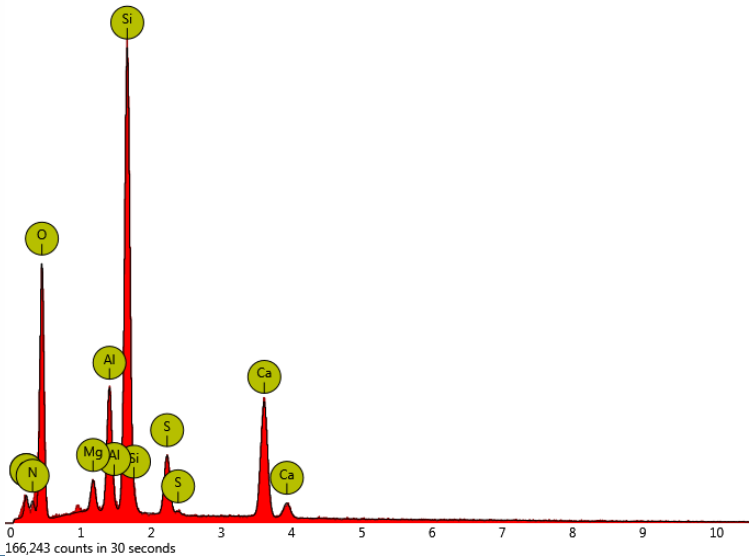
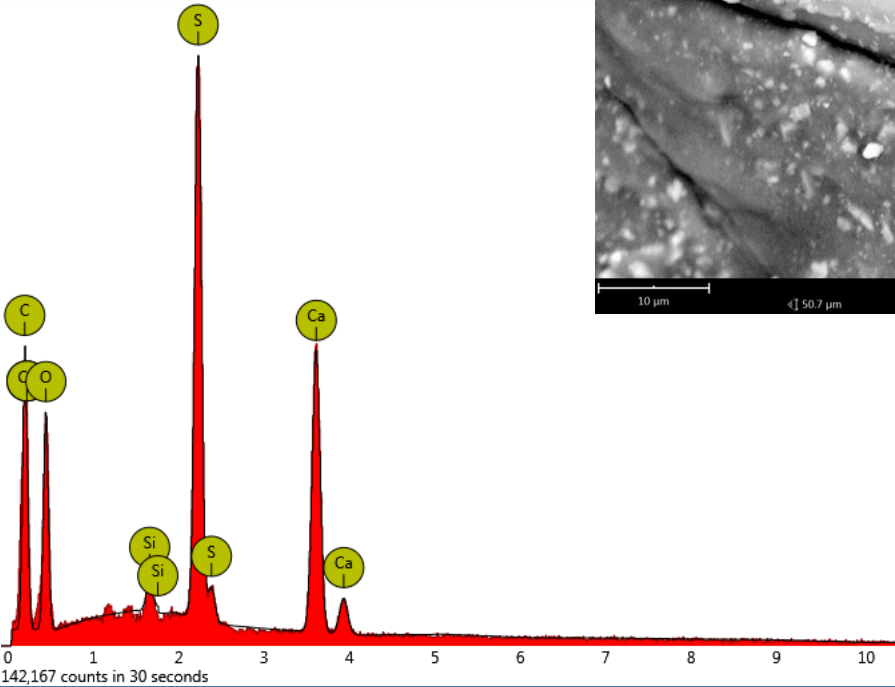
Ukázka – prvková analýza: SEM + EDS (Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy)



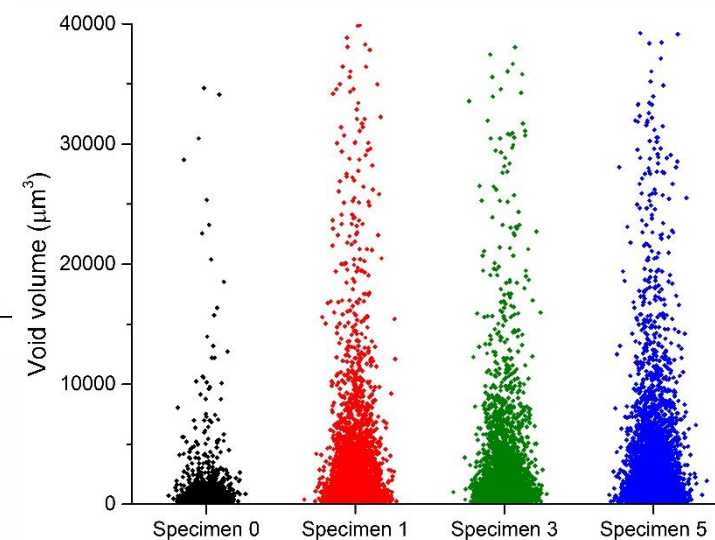
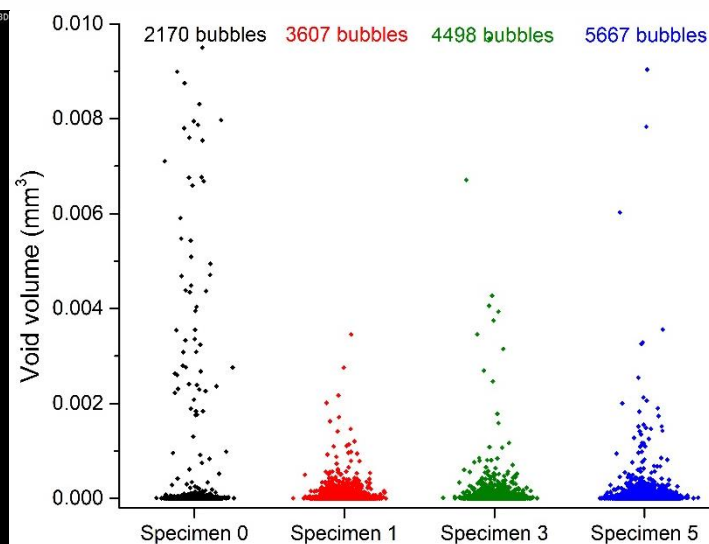
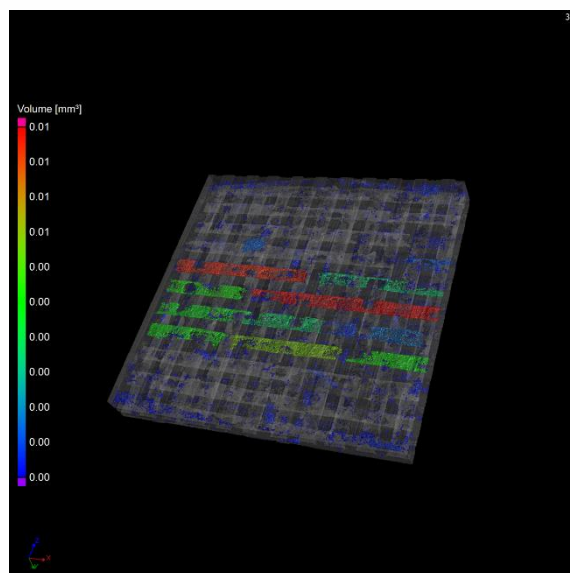
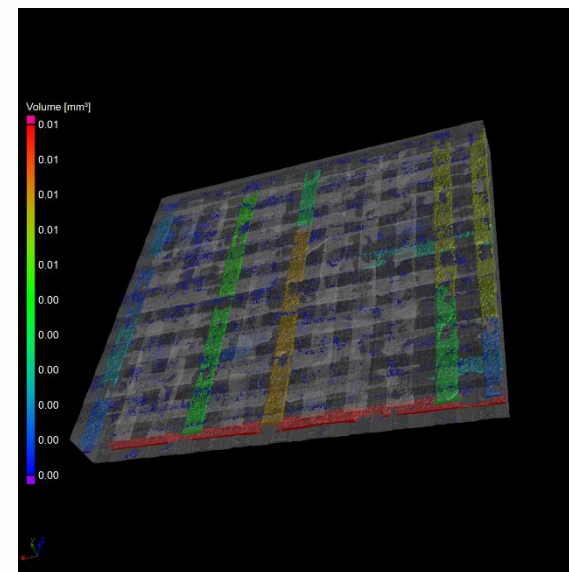
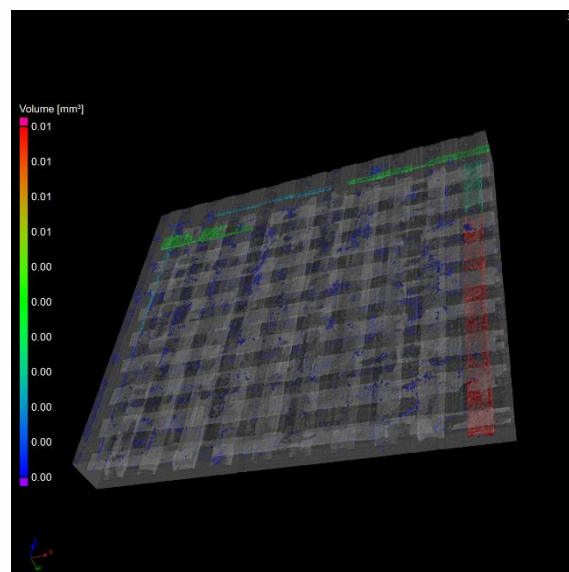
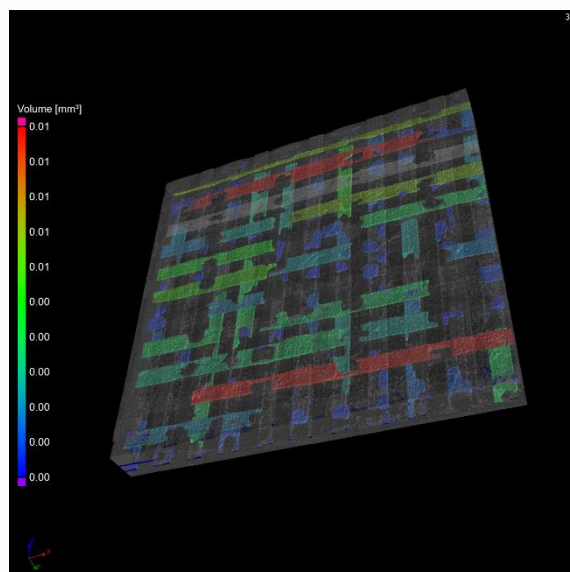
Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
8	O	Oxygen	61.31	49.36
6	C	Carbon	15.25	9.22
16	S	Sulfur	13.54	21.85
20	Ca	Calcium	9.26	18.68
14	Si	Silicon	0.64	0.90



Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
8	O	Oxygen	68.06	54.84
14	Si	Silicon	13.92	19.69
20	Ca	Calcium	4.99	10.07
13	Al	Aluminium	4.74	6.44
7	N	Nitrogen	4.06	2.86
16	S	Sulfur	2.34	3.77
12	Mg	Magnesium	1.90	2.33

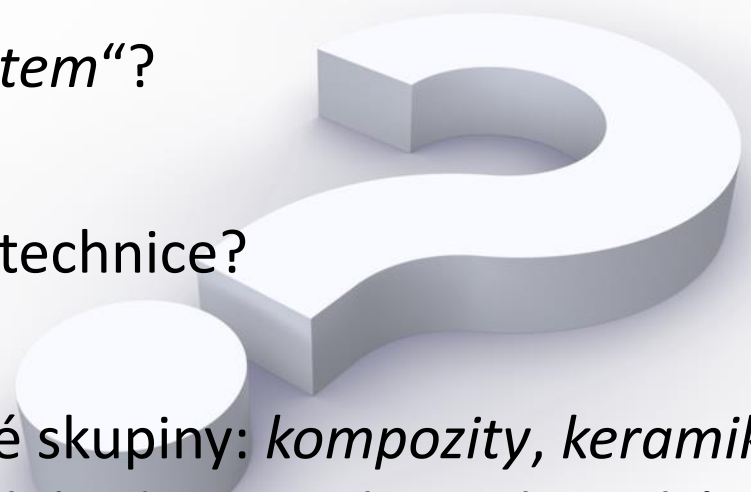


Ukázka – rentgenová výpočetní mikro-tomografie (Micro-CT)



Kontrolní otázky

- Jaký je rozdíl mezi pojmy (i) *zpracování a technologie*; (ii) *materiálové vědy a materiálové inženýrství* a (iii) *složení a struktura*?
- Co se stane s mechanickými vlastnostmi měděného drátu, pokud jej budeme opakovaně ohýbat a co je příčinou těchto změn?
- Co je to *vývojový tetraedr*?
- Do jakých základních skupin dělíme materiály dle složení?
- Z čeho se vyrábí *sklo* a jakou má strukturu?
- Jaký je rozdíl mezi „*polymerem*“ a „*plastem*“?
- Co je to *kompozitní materiál*?
- K čemu je využíván *polyetylen* v elektrotechnice?
- Co je to *Arsenid gallitý (GaAs)*?
- Dovedl/la byste seřadit tyto materiálové skupiny: *kompozity, keramiky, polymery, kovy a slitiny*, dle maximálních hodnot jejich mechanické pevnosti?



Kontrolní otázky

- Co jsou to *chytré materiály*?
- Jak dělíme materiály dle jejich struktury?
- Jaké negativní vlivy může mít vysoká provozní teplota na *termoplasty* a jaké na *reaktoplasty*?
- Jaké znáte *vlivy provozního prostředí*?
- Co je to *fenomenologický přístup* k charakterizaci materiálů?

