

4

Speciální elektricky vodivé materiály – 1. část

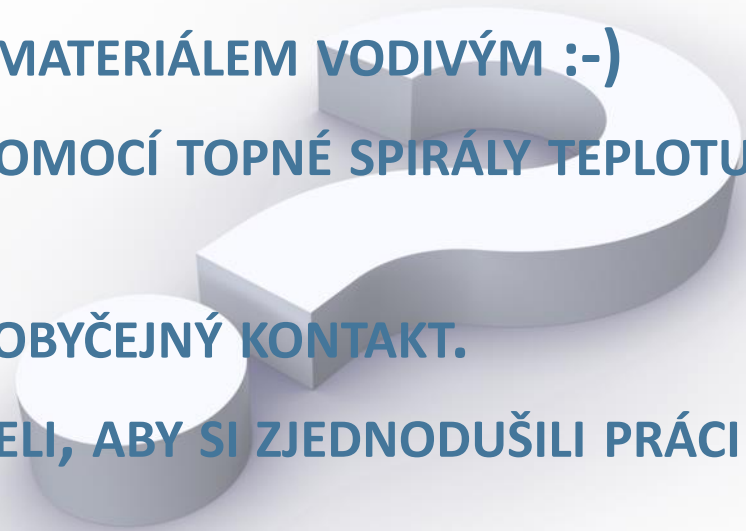


EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MSMT
MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Co se v přednášce dozvíte?

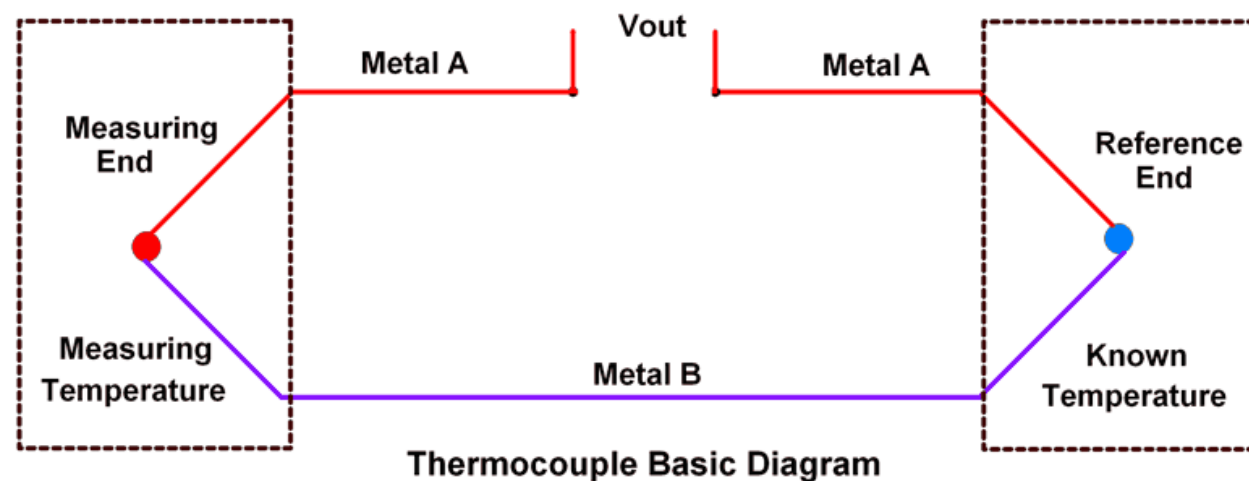
- DOZVÍTE SE, ŽE OBYČEJNÉ SPOJENÍ DVOU RŮZNÝCH DRÁTŮ POMOHLA ZMĚNIT ELEKTROTECHNIKU.
- DOZVÍTE SE, JAKÉ „BATERKY“ POUŽÍVAJÍ SONDY K MEZIHVĚZDNÝM PLANETÁM A ŽE DÍKY TERMOČLÁNKŮM MOHOU MÍT ŽIVOTNOST DESÍTKY LET.
- ZJISTÍTE, ŽE TERMOČLÁNKEM LZE NEJENOM MĚŘIT TEPLITU, ALE TAKÉ CHLADIT.
- ZJISTÍTE, JAK JE DŮLEŽITÉ ZNÁT NĚCO O ROZTAŽNOSTI KOVŮ A K ČEMU JE TO DOBRÉ.
- DOZVÍTE SE, ŽE I ODPOROVÝ MATERIÁL JE MATERIÁLEM VODIVÝM :-)
- DOZVÍTE SE, JAK JE MOŽNÉ DOSÁHNOUT POMOCÍ TOPNÉ SPIRÁLY TEPLITU 2 600 °C.
- ZJISTÍTE, JAK MOC SLOŽITÁ VĚC MŮŽE BÝT OBYČEJNÝ KONTAKT.
- DOZVÍTE SE, CO VŠECHNO JIŽ LIDÉ VYMYSLELI, ABY SI ZJEDNODUŠILI PRÁCI PŘI SPOJOVÁNÍ DVOU VODIČŮ.



4.1 Materiály pro termočlánky a dvojkovy

4.1.1 Termoelektrický jev (Seebeckův jev)

Je pojmenován po svém objeviteli (**Thomas Johann Seebeck**), který v roce 1821 zjistil, že když spojíme dva dráty **různých vodičů A a B** (čisté kovy, slitiny nebo polovodiče) na obou koncích a tyto konce udržujeme při **dvou rozdílných teplotách**, tak teplotní rozdíl mezi nimi **vytváří elektrický proud** tekoucí tímto obvodem.



Po rozpojení obvodu se na vzniklých koncích objeví **rozdíl el. potenciálů** známý jako **Seebeckova elektromotorická síla U_{AB}** (v literatuře značena různými způsoby) vyjádřená ve **voltech**.

Toto napětí je **komplexní funkcí** jak (i) **rozdílu teplot**, tak (ii) **typu použitých vodičů**. Nicméně, pro **malé teplotní rozdíly** je elektromotorická síla přímo úměrná teplotnímu rozdílu (teplota **měřená** T_m – **referenční** T_r) dle vztahu:

$$U_{AB} = \alpha^{AB} (T_m - T_r),$$

kde α^{AB} ($\text{V} \cdot \text{K}^{-1}$) je tzv. **relativní termoelektrický (Seebeckův) součinitel** rovný rozdílu (absolutních) **termoelektrických součinitelů** ($\approx$ teplotních součinitelů odporu) použitých vodičů:

$$\alpha^{AB} = \alpha^A - \alpha^B, \text{ přičemž platí: } \alpha = \frac{\Delta R}{R_0 \Delta t},$$

kde R_0 je počáteční odpor, ΔR je rozdíl odporů při rozdílu teplot Δt ($^{\circ}\text{C}$).

4.1.2 Peltierův jev

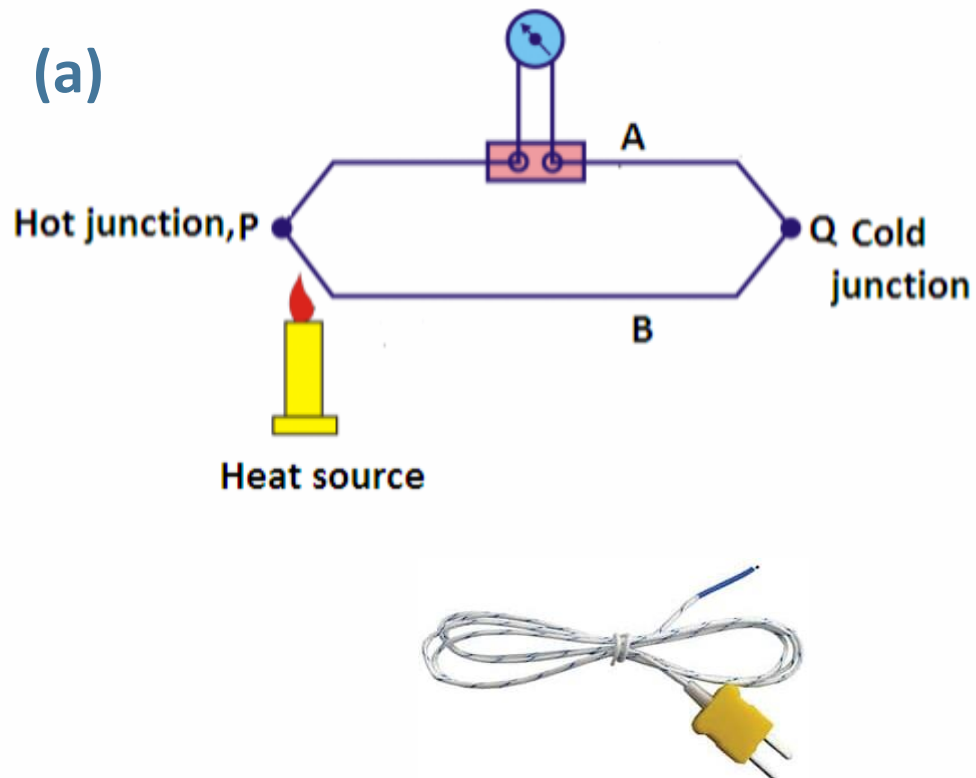
Je opakem *Seebeckova jevu*. **Charles A. Peltier** v roce 1834 zjistil, že když **prochází proud obvodem se dvěma rozdílnými vodiči** zapojenými v **sérii** (většinou *bismut* a *tellur*), jedna z jejich **styčných ploch** se **ochlazuje** a druhá **zahřívá**. Tohoto jevu se s úspěchem využívá v tzv. **Peltierovo článkách** (detailněji v další části přednášky).



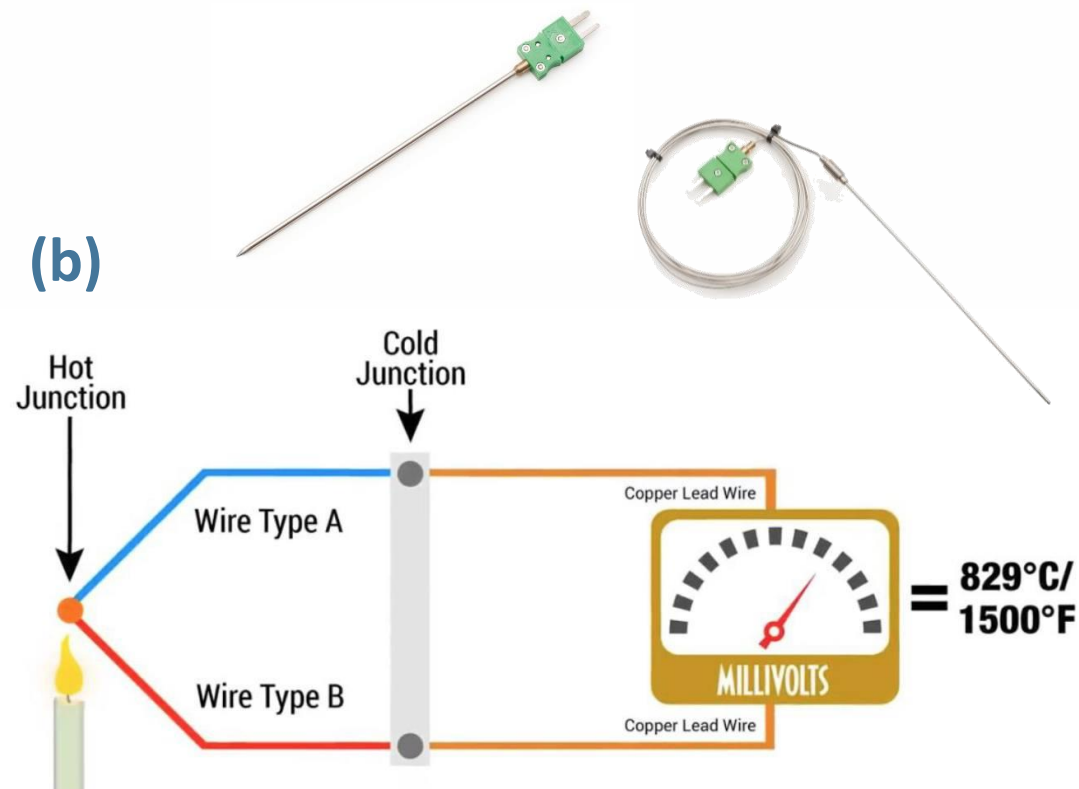
4.1.3 Termočlánek

Termočlánek je **senzor teploty** fungující na principu **termoelektrického jevu**. Je tvořen dvěma různými kovovými dráty **spojenými na jednom konci**, zvaném **měřicí konec**, druhý konec je **bud' spojen (a), nebo nespojen (b)**, a je nazýván jako **referenční konec**. Teplota referenčního konce je **známa**.

(a)



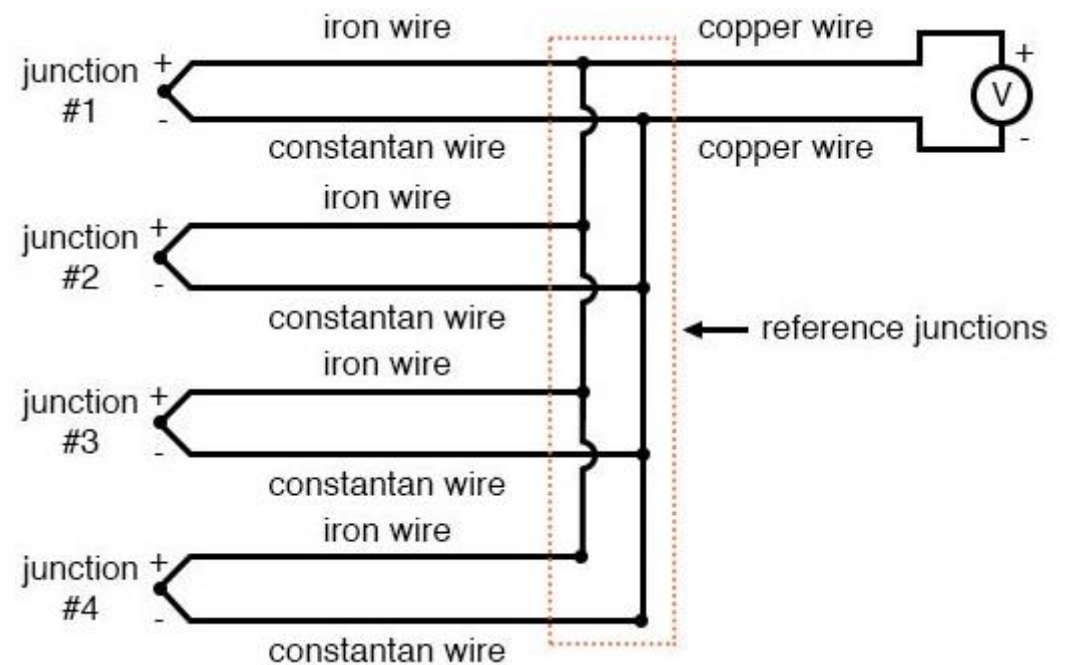
(b)



Vzniklé **termoelektrické napětí (U_{AB})**, měřené vysoce přesným voltmetrem, je za těchto podmínek **úměrné teplotě měřicího konce**.

Signál lze zesílit připojením několika stejných termočlánků v **sérii**. Výsledné U_{AB} je pak **součtem příspěvků každého termočlánku** a je snadnější jej měřit přesně.

Příklad: u 1 článku tvořeného z železa a konstantanu (slitina Cu+Ni) vzniká, při teplotním rozdílu obou konců $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, termoelektrické napětí pouze $5,37\text{ mV}$.



Dělení termočlánků a jejich použití

Jednotlivé typy termočlánků se liší použitou kombinací kovů/slitin. Různé typy termočlánků jsou vhodné pro různé typy aplikací. Jejich **výběr je kompromisem** mezi *cenou, chemickou odolností, životností, stabilitou a výkonem*. V průmyslových aplikacích je **teplota studeného spoje kompenzována** vytvářením napětí rovného napětí termočlánku při $0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

4.1 Materiály pro termočlánky a dvojkovy

Typ	Obch. název	Složení	Tep. rozsah
J	Železo Konstantan	Fe 45Ni-55Cu	0 – 750 °C
K	Chromel Alumel	90Ni-9Cr 95Ni-2Mn-2Al	-200 – 1250 °C
N	Nicrosil Nisil	84.3Ni-14Cr-1.4Si-0.1Mg 95.5Ni-4.4Si-0.1Mg	-230 – 1300 °C
T	Měď Konstantan	Cu (99.9%hm.) 45Ni-55Cu	-250 – 350 °C
E	Tophel Konstantan	90Ni-10Cr 45Ni-54Cu-1Mn	-200 – 900 °C
R	Platina-13 rhodium Platina	87Pt-13Rh Pt	0 – 1600 °C
S	Platina-10 rhodium Platina	90Pt-10Rh Pt	0 – 1600 °C
B	Platina-30 rhodium Platina-6 rhodium	70Pt-30Rh 94Pt-6Rh	0 – 1700 °C

Nejčastěji používané:

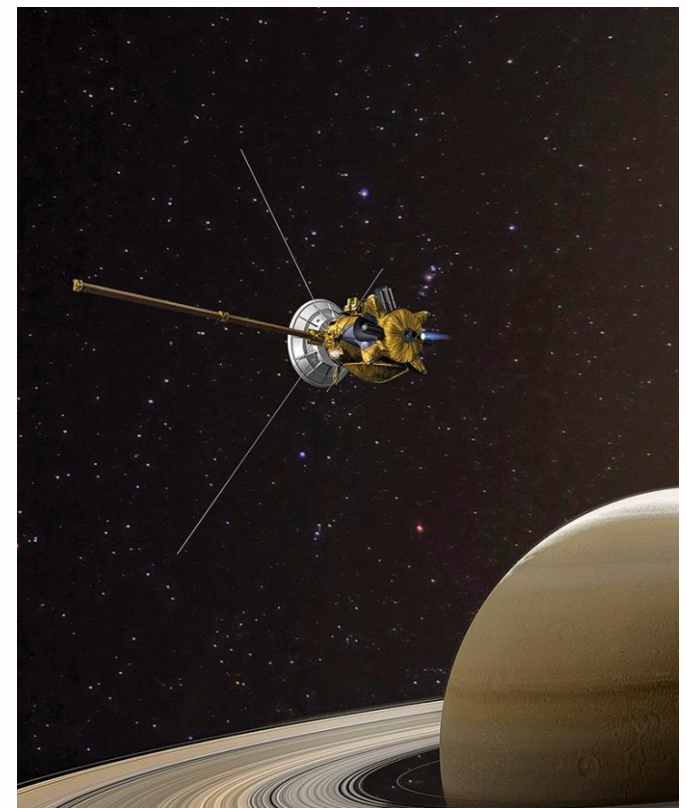
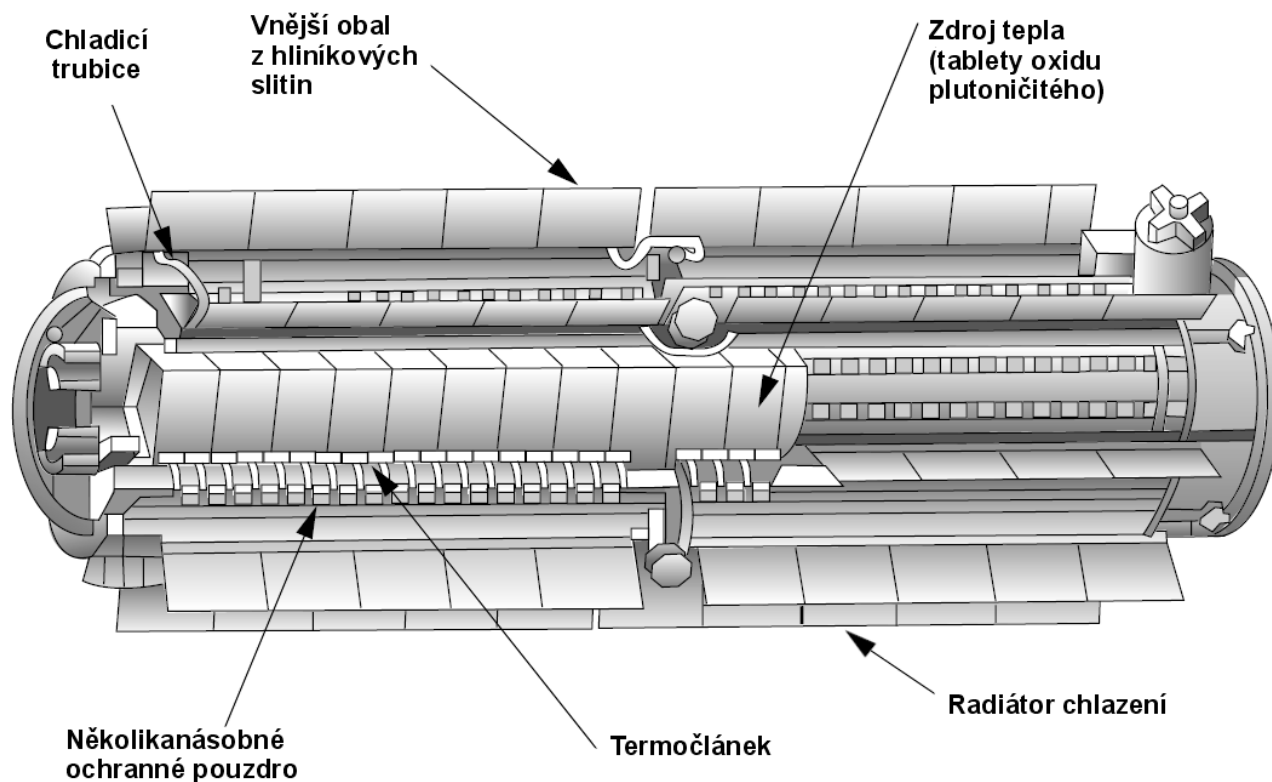
J – pro měření vyšších teplot v inertní atmosféře.
K – všeobecné použití v oxidační atmosféře.
N – nový typ, náhrada typu K.
T – všeobecné použití pro nižší teploty, odolný vlhkosti.

Méně používané:

E – všeobecné použití pro střední a nižší teploty.
R – velmi přesný, pro vyšší teploty.
S – velmi přesný, pro vyšší teploty.
B – pro vyšší teploty, nevyžaduje kompenzaci.



Poznámka: Kromě běžných technických oblastí, ve kterých jsou termočlánky používány jako **senzory teploty** (*měřicí a regulační technika, tepelná technika, elektronika*), jsou využity také u **kosmických sond** k vnějším planetám (např. sonda *Cassini*). Zde jsou klíčovou součástí **radioizotopového termoelektrického generátoru**, který využívá k získání tepelné energie rozpad radioaktivních prvků. Termočlánky přeměňují toto teplo na termoelektrické napětí.

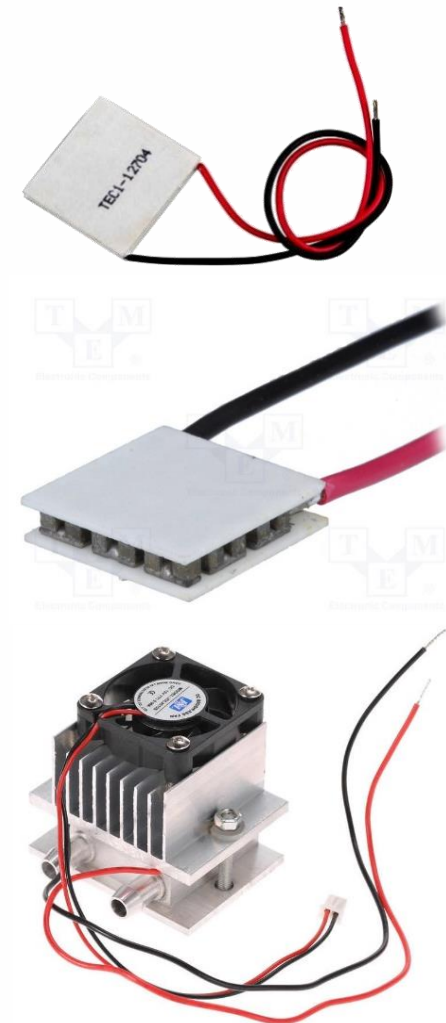


4.1.4 Peltiérův článek

Peltiérův článek v principu pracuje jako **tepelné čerpadlo** (*TEC* – *ThermoElectric Cooler*), tj. na **chladné straně odebírá teplo** a na **teplé straně teplo opět vydává**. Jeho základem bývají zpravidla **dvě keramické destičky**, mezi kterými jsou nanесeny **dva kovy**, na kterých vzniká **termoelektrické napětí**.

Výhody: malé rozměry, okamžitý efekt chlazení/topení, dosažení nízkých teplot (až $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$), **snadná regulace výkonu**, absolutně **tichý provoz** (žádné pohyblivé části), **dlouhá životnost** (teoreticky neomezená), možnost řízení **chlazení velmi malých ploch** (např. $10 \times 10\text{ mm}$), snadná **změna směru toku tepla** (změnou směru el. proudu).

Nevýhody: přehřívání, **velká spotřeba proudu**, **vyšší cena** v případě potřeby velkého chladičího výkonu, malý rozdíl teplot mezi studenou a teplou stranou článku, **nižší účinnost** v porovnání s kompresorovým chlazením.



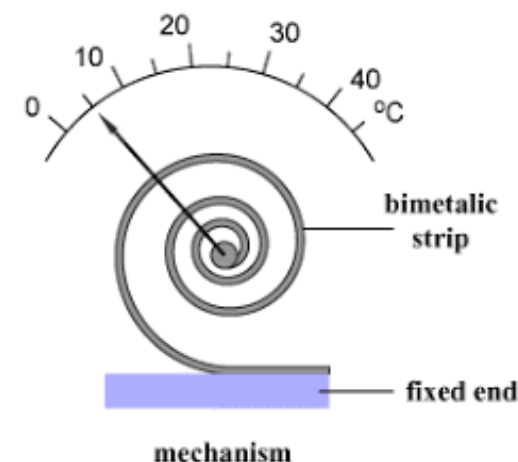
Použití: Peltierovy články lze nalézt např. v termoelektrických autochladničkách, ale obecně se používají hlavně na **chlazení elektronických komponent** (např. *kamery a fotoaparáty s chlazeným snímačem, počítačová technika*).

4.1.5 Dvojkovy (bimetaly)

Dvojkovové materiály, neboli **bimetaly**, jsou vytvořeny ze **dvou vrstev různých kovů** nebo **slitin**. Vrstvy jsou spojeny buď **metalurgicky** (pájením, plátováním), nebo **mechanicky** (zaválcováním). Zhotovují se ve tvaru **plechů, pásů, nebo drátů**.

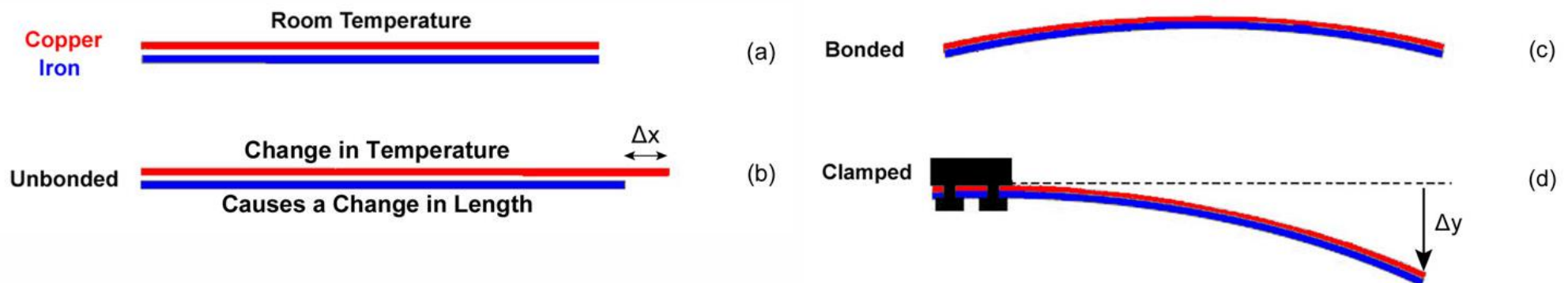
Rozlišujeme následující druhy dvojkovů:

- **dvojkovy ohybové,**
- **dvojkovové vodiče,**
- **dvojkovové kontakty.**



a) Dvojkovy ohybové

Ohybové dvojkovy se skládají ze **dvou vrstev různých kovů**, které se liší především hodnotou **teplotního součinitele délkové roztažnosti**. Při zahřívání dvojkovu vzniká ve vrstvě s **malou teplotní roztažností** namáhání **tahem**, ve vrstvě s **velkou teplotní roztažností** namáhání **tlakem**. Následkem mechanických napětí se **dvojkov ohne**.



Toho se využívá např. v **elektrických obvodech ke spínání a vypínání** a k časově **zpožděnému ovládání různých el. obvodů**. Ohybové dvojkovy se také uplatňují jako **tepelné pojistky, termostaty** apod.

Vrstvu s **malou délkovou roztažností** může tvořit např. **slitina Fe+Ni** s obsahem niklu 36 – 42 %, vrstvu s **velkou délkovou roztažností** **nikl** nebo **slitina Cu+Ni**.

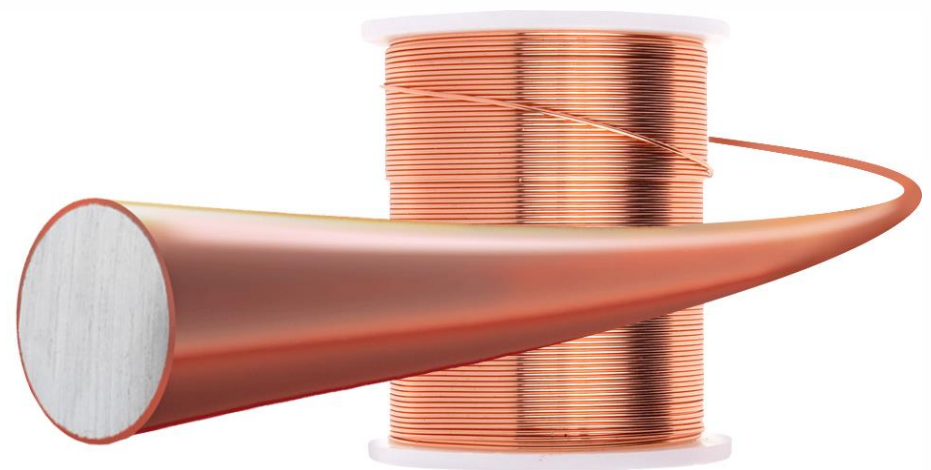
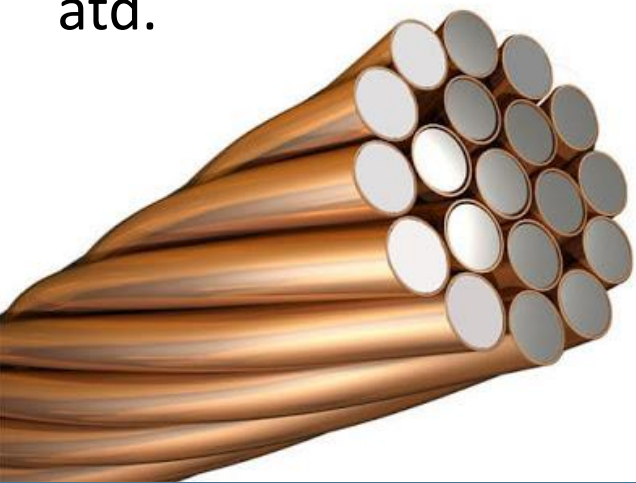
b) Dvojkovové vodiče

Vyrábějí se **plátováním** – na vrstvu základního kovu se válcováním **za tepla přivaří** (naplátuje) vrstva jiného kovu. Takto získaným bimetal se dále zpracovává **válcováním, tažením a lisováním**.

Příklady dvojkovových vodičů:

CuAl (Cupal) – hliník plátovaný z jedné, nebo obou stran mědí ve tvaru plechu (viz *Přednáška 3*).

Fe povrchově plátované Cu ve tvaru drátů – dříve např. pro **venkovní sdělovací vedení** (Fe jádro pro dobrou mechanickou pevnost a Cu pro dobrou vodivost), ale také pro **antény, krokové motory, koaxiální kabely** atd.



c) Dvojkovové kontakty

Skládají se ze dvou nebo více kovových vrstev, z nichž jednu tvoří **kontaktní kov** a druhou **podkladový pružný, nebo tuhý kov**.

Jako příklad lze uvést *měděný kontakt plátovaný stříbrem* nebo *zlatem*. Povrchová vrstva zaručuje **chemickou stálost** kontaktu a jeho **nízký přechodový odpor**. Podkladový kov zaručuje hlavně **mechanické vlastnosti** kontaktu.



4.2 Odporové materiály

Odporové materiály jsou **zpravidla slitiny kovů** s rezistivitou přibližně 10 až 100krát větší než *měď*.

Jejich rezistivita i rozměry se mění s teplotou velmi málo, mají **velmi malý teplotní součinitel odporu** ($10^{-4} - 10^{-6} \text{ K}^{-1}$) i **součinitel délkové roztažnosti**. Vyznačují se **velkou mechanickou pevností** a **odolností**. Jsou **odolné i tepelně**, často **žárovzdorné**. Mají zvýšenou **odolnost proti oxidaci**.

Dle **použití** je dělíme na:

- *Odporové materiály pro měřicí techniku.*
- *Odporové materiály pro elektrotepelná zařízení (500 až 1 350 °C).*
- *Nekovové odporové materiály pro elektrotepelná zařízení (nad 1 350 °C).*



4.2.1 Odporové materiály pro měřicí techniku

Odporové materiály pro měřicí techniku se nejčastěji používají k výrobě **drátových rezistorů**. Jejich teplotní odolnost je přibližně **do 600 °C**. Rezistory pro **měřicí techniku** by měly být vyrobeny z materiálů s **malým** (popř. nulovým) **teplotním součinitelem rezistivity**.

Drátové rezistory mohou být určeny pro:

- **Účely přesného měření:** rezistory s přesností až $\pm 0,001 \%$, např. pro **odporové normály** nebo pro **odporové sady**, musí mít **velkou rezistivitu**, **malý teplotní součinitel el. odporu** (α_R) a **značnou časovou stabilitu**. Používají se obvykle při teplotách okolo 20 °C. Do této skupiny patří např. *manganin, konstantan, isotan a zeranin*.
- **Účely řízení, spouštění apod.:** řídicí, spouštěcí a předřadné rezistory, které musí splňovat kromě základních vlastností i **odolnost proti účinkům provozních teplot** až 200 °C. Do této skupiny patří hlavně *konstantan a nikelin*.



- **Manganin** ($86\text{Cu}-12\text{Mn}-2\text{Ni}$) se používá k výrobě **přesných** a **stabilních drátových a plošných rezistorů** (*přesné odpory, bočníky, předřadné a posuvné odpory, odporové manometry – tlakem se mění el. odpor slitiny*).
- **Konstantan** ($54\text{Cu}-45\text{Ni}-1\text{Mn}$) se používá k výrobě **spotřebních vinutých rezistorů** s přesností $\pm 0,5 \%$ a **teplotně stálých rezistorů**. Při styku *konstantanu s mědí* vzniká termoelektrické napětí, proto se používá i pro termoelektrické články.
- **Isotan** ($55\text{Cu}-44\text{Ni}-2\text{Mn}$) je **podobný konstantanu**, používá se pro výrobu spotřebních rezistorů.
- **Zeranin** ($87\text{Cu}-7\text{Mn}-6\text{Ge}$) se svými vlastnostmi **podobá manganinu**. Vyrábějí se z něj **přesné rezistory**.
- **Nikelin** ($67\text{Cu}-30\text{Ni}-3\text{Mn}$) se používá k výrobě **rezistorů pro regulační a spouštěcí účely** (*měřicí odporníky, spouštěče, předřadné odpory*).



4.2 Odporové materiály

Materiál	Složení	ρ ($\mu\Omega\cdot m$)	α_R $\cdot 10^6$ (K ⁻¹)	Pevnost v tahu (Mpa)	Max. teplota (°C)
Manganin	86Cu-12Mn-2Ni	0,43	2,5	500 – 550	140
Konstantan	54Cu-45Ni-1Mn	0,5	50	400 – 500	500
Isotan	55Cu-44Ni-2Mn	0,49	+40/-80	450 – 550	600
Zeranin	87Cu-7Mn-6Ge	0,43	3	350 – 400	140
Nikelin	67Cu-30Ni-3Mn	0,4	180	350 – 400	400



Vinuté rezistory



Vinuté výkonové rezistory



Bočník



Odporový
normál

4.2.2 Odporové materiály pro elektrotepelná zařízení (500 – 1 350 °C)

Používají se pro **topné články** *elektrotepelných spotřebičů* (žehličky, vařiče, varné konvice, topení atd.) a *elektrických pecí*.

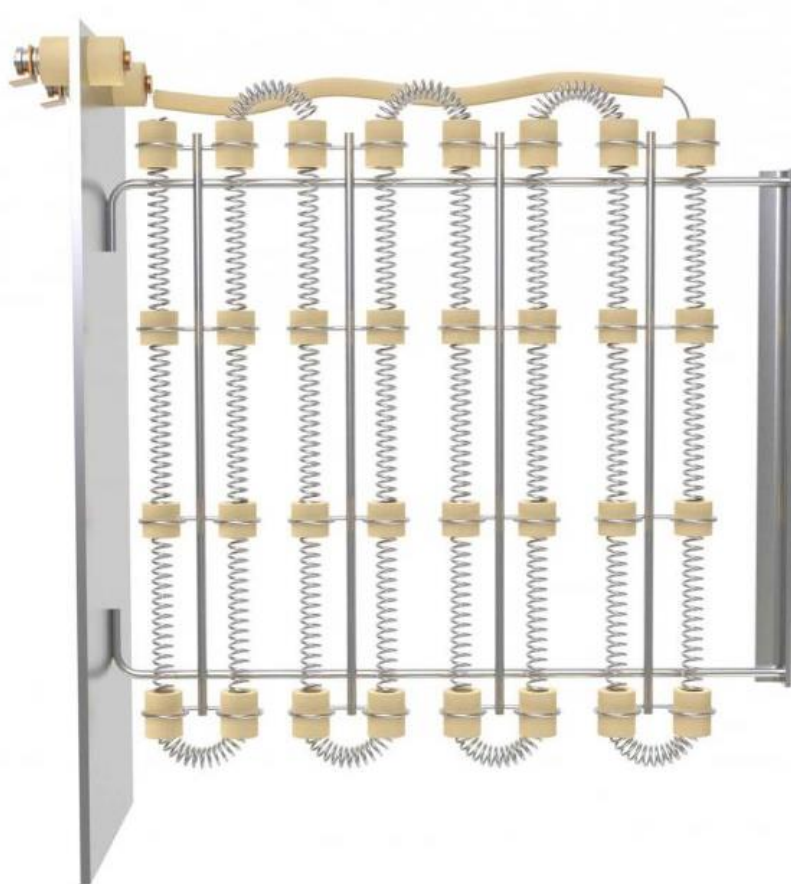
Jeich dovolená provozní teplota je v rozmezí **500 – 1 350 °C**. Při tak vysokých teplotách již **dochází k chemickým reakcím na povrchu materiálu** s atmosférou nebo s materiály ohřívaného prostoru (*kyslík, dusík, síra, uhlík, keramika* aj.). Používané materiály mají **malý koeficient teplotní roztažnosti**, aby nedocházelo k deformaci topných článků, jsou **žárovzdorné** a mají obvykle **dlouhou životnost**. Do této skupiny patří *chromnikl, cekas* a různé druhy *kantalu*.

- **Chromnikl** (80Ni-20Cr) dobře **odolává oxidaci a chemickým vlivům**. Používá se pro **topné rezistory** pro **vařiče a elektrické pece**.
- **Cekas** (Ni-Cr-Fe-Mn) je **levnější než chromnikl**, ale **není tak kvalitní**. S rostoucím obsahem železa **klesá provozní teplota a odolnost slitin proti oxidaci**.
- **Kantal** (Fe-Cr-Al-Co) se vyrábí v různých druzích a používá se opět pro **topné články**.



4.2 Odporové materiály

Materiál	Složení	ρ ($\mu\Omega\cdot\text{m}$)	α_R $\cdot 10^6$ (K ⁻¹)	Pevnost v tahu (MPa)	Max. teplota (°C)
Chromnikl	80Ni-20Cr	1,1	85	700 – 1 400	1 200
Cekas	Ni-Cr-Fe-Mn	1 – 1,3	70	N/A	1 050
Kanthal	Fe-Cr-Al-Co	1,35 – 1,45	32 – 63	650 – 850	1 350



4.2.3 Nekovové odporové materiály (nad 1 350 °C)

Při takto **vysokých teplotách** již kovové odporové materiály **pozbývají své mechanické vlastnosti** a **zkracuje se doba jejich života**. Používají se (i) **uhlíkové a silitové materiály** (karbid křemíku - sloučenina C a Si), které mají **rezistivitu** podstatně **větší než kovové odporové materiály**; příp. (ii) **materiály lisované z prášků** vysokoteplotních kovů s **pracovní teplotou až 2 600 °C**.

a) Silit je směs karbidu křemíku, křemíku a dalších přísad, z níž se **lisováním a slinováním** vyrábějí topné články ve tvaru **tyčí a trubek**. **Silitové rezistory** (Si+C+SiC) ve formě tyčí a trubek (rezistivita cca 0,1 až 0,2 $\Omega \cdot m$, křehké) se dají použít **do teplot 1 600 °C**. Silitové výrobky se dodávají pod obchodním označením *global*, *quarzilit*, *crusilite* aj.



b) Materiály lisované z prášků se vyrábějí **slinováním** práškového wolframu nebo molybdenu (jako **vodivé složky**) s **oxidy** např. *hliníku*, *zirkonia* (jako **nevodivé složky**). Mají **malý teplotní koeficient roztažnosti**, jsou **křehké**, **nesnášejí rázové namáhání a ohyb**. Používají se pro výrobu **odporníků** a **topných těles** s pracovními teplotami až do **2 600 °C**.



4.3 Materiály na kontakty a spoje v el. zařízeních

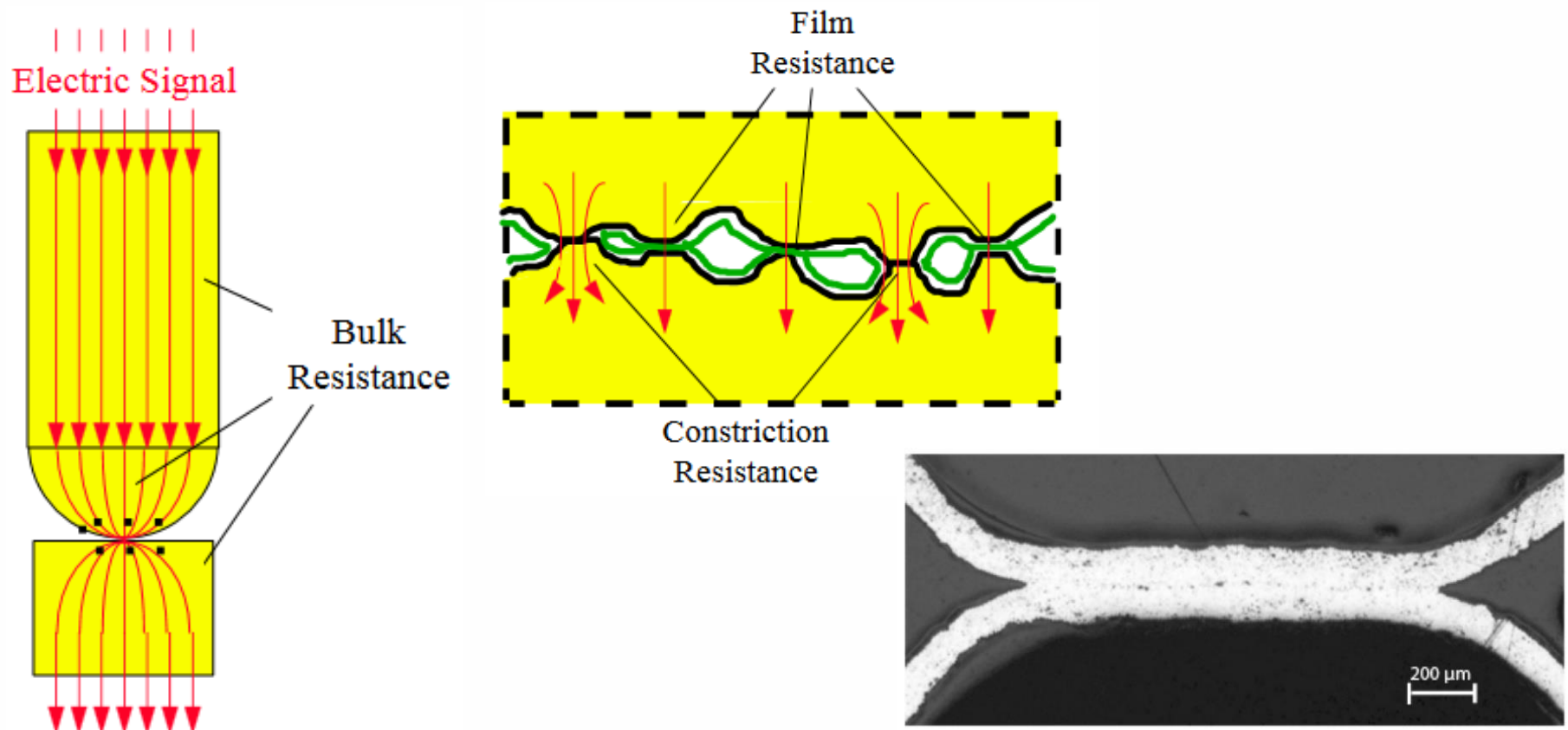
Elektrický kontakt je místo **spojení dvou vodičů**, jímž **prochází elektrický proud** a které **lze uvolnit**. Jedná se o různorodou skupinu případů, které lze dále dělit na:

- Spojení, která se uvolňují pouze **při výměně součástky** nebo při opravě (*svařený spoj, nýťovaný spoj, pájený spoj*).
- Spoje, které se **vypínají občas** (zásuvky, vidlice, konektory).
- Spínače s **nižší četností spínání** (např. vypínače pro domácnost).
- Kontakty, kde se spínání el. obvodu **často opakuje** (relé, přepínače, stykače, řadiče).



4.3.1 Přechodový odpor kontaktů

Žádná **kontaktní plocha** není absolutně rovná => kontaktní plochy se vždy dotýkají pouze **zlomkem své celkové plochy** a el. proud tedy prochází jen určitými body. Tak vzniká **první složka přechodového odporu** kontaktů – tzv. **úžinový jev**. Na povrchu každého materiálu (mimo *zlata*) se tvoří vrstvička *oxidů*, která má jiné vlastnosti než původní kov, dochází tak ke vzniku **druhé složky přechodového odporu** kontaktů – **odporu přechodových vrstev**.



4.3.2 Požadavky na kontaktní materiály

Kontakty patří mezi **velmi silně namáhané součásti** elektrických silnoproudých i slaboproudých spínacích zařízení.

Jsou na ně kladeny požadavky **elektrického, mechanického a tepelného charakteru**. Žádný kontaktní styk nedokáže přenášet elektrickou energii **beze ztrát**. V kontaktech vznikají často **nežádoucí jevy**, které provázejí průchod proudu, jako např. **oteplení materiálu, přenos materiálu, oxidace kontaktů**. Tyto jevy spolu s **přechodovým odporem** jsou pro volbu použitých materiálů na kontakty velmi důležité.

a) Dobrá elektrická a tepelná vodivost

Jeden ze základních požadavků. Závisí pouze na **použitém kovu/slitině**.

b) Malý a stálý přechodový odpor

Závisí na **tvrdosti, pružnosti a plastičnosti** použitých materiálů, na **přítlačné síle** a na zúžení průřezu materiálu v elementárních výstupcích (**úžinový odpor**). Jeho vlastnosti by se neměly v průběhu života kontaktu příliš měnit. Tyto podmínky do značné míry splňují **ušlechtilé kovy** a **jejich slitiny**.



c) Co nejmenší migrace kovů

Kontakty se **nesmějí rozprašovat** a **tavit** v oblouku. Dochází k **vypařování kontaktů** a může nastávat **migrace kovů** od jedné elektrody k druhé. Tím se povrch kontaktů značně zdrsňuje a nelze pak dosáhnout bezvadného spoje.

d) Odolnost proti mechanickému opotřebení kontaktních míst

Lze zlepšit **zvýšením tvrdosti**, ale **určitý otěr je žádoucí**, protože na povrchu kontaktu **mechanicky rozrušuje korozní vrstvy**. Vhodným konstrukčním uspořádáním se toto samočištění podporuje, nicméně, otěr **vždy zkracuje životnost kontaktu**.

e) Odolnost proti svařování a lepení kontaktů

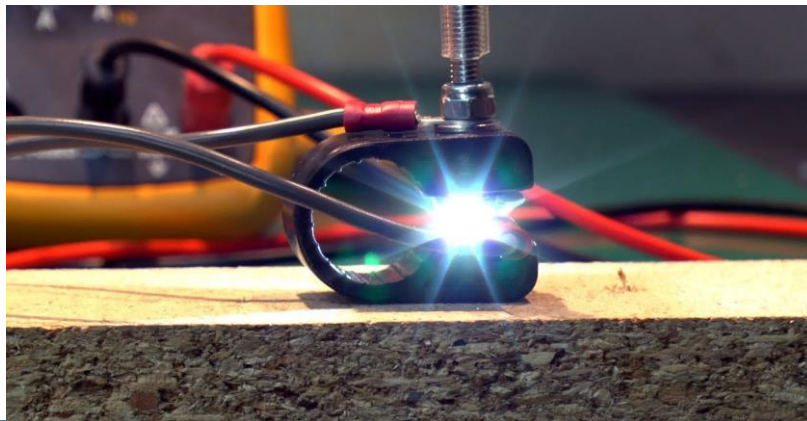
Působením **elektrického oblouku** nebo pouhým **průchodem proudu** uzavřenými kontakty vznikají na povrchu kontaktů **teploty**, při nichž **kov měkne a taje**. Po jeho vychladnutí může dojít k pevnému spojení kontaktů **svařením**. K **lepení kontaktů** dochází **difuzí při zapnutém kontaktu i bez proudového zatížení**, zatímco ke **svaření** dochází až při dosažení **tavícího napětí**.



Nebezpečí svaru zmenšujeme použitím **materiálu s malým měrným el. odporem a vysokou teplotou tání**. Lepení se projevuje u **ušlechtilých kovů** s velkou difuzní rychlostí (zejména u *zlata*). Lze ho odstranit **legováním neželeznými kovy**, např. slitinou $AuNi_{0,14}$.

f) Odolnost proti elektrickému oblouku

Na kontaktech, které spínají větší výkony, dochází obvykle k **elektrické erozi jejich povrchu**. Příčinou je **tavení, rozprašování** (přenášení kovu) nebo **vypařování kontaktu**, ke kterému dochází při velkých proudech na kontaktech nebo při vzniku **elektrických výbojů**. Elektrický oblouk **výrazně zkracuje životnost kontaktů**. Jeho vzniku zabráňujeme jednak **volbou vhodného materiálu** a jednak **konstrukční úpravou** např. **použitím zhášecích obvodů**.



4.3.3 Vlivy ovlivňující spolehlivost kontaktu

Spolehlivost kontaktů závisí na:

- **Elektrických podmínkách** – napětí, proud, zátěž, kmitočet.
- **Mechanických podmínkách** – tvar a velikost kontaktů, dotykový tlak, rychlost spínání, velikost styčné plochy kontaktu.
- **Prostředí** – prašnost, vlhkost, teplota, plyny.
- **Kontaktním materiálu** – fyzikální a chemické vlastnosti, tepelná a elektrická vodivost, tvrdost, bod tání.



4.3.4 Rozdělení kontaktních materiálů dle použití

Kontaktní materiály můžeme dle použití rozdělit na materiály pro:

- *Nízkovýkonové kontakty* – Ag, Au, Rh, Pd.
- *Kontakty odolné vůči tečení* – Ag, Au, Pd, Pt.
- *Kontakty pro střední výkony* – Cu, Ag, W, AgNi, Ag-CdO (oxid kademnatý), Ag-CuO (oxid měďnatý) aj.
- *Kontakty odolné vůči opalu* – Mo, W, pseudoslitiny Ag-W, Cu-W aj.
- *Kluzné kontakty* – Ag, Ag-C aj.



Poznámka: „Pseudoslitiny“ jsou **soudržné hmoty** s vlastnostmi slitin vyrobené metodami **práškové metalurgie** (detailněji viz Přednáška č. 5) ze směsi dvou i více kovových prášků.

4.3.5 Přehled používaných kontaktních materiálů

Pro výrobu kontaktů se používají:

1. **Čisté kovy:** **Cu** (levné kontakty), **Ag** a z **vysokotavitelných kovů** např. **W** a **Mo** (vysoká teplota tavení, velká tvrdost a odolnost proti oblouku).
2. **Slitiny kovů:** **nejpočetnější skupina** materiálů, které mají často lepší fyzikální vlastnosti než čisté kovy, např. **slitiny Cu**, dále pak slitiny **Au**, **Ag**, **Pt** s **Cu**, **W** aj.
3. **Slinuté materiály:** tvrdé, odolné proti oblouku, mají dobrou tepelnou a elektrickou vodivost.

Jedná se o **pseudoslitiny** dvou nebo více kovů vyráběných buď **slinováním směsí prášků** nebo **sycením základního pórovitého materiálu druhým**, např. **W-Cu**, **W-Ag**, **Ni-Ag**, **Ag-C**, **Ag-CdO**, **W-Ag-Ni-Cu**, **W-Ag-Ni**.



4.3 Materiály na kontakty a spoje v el. zařízeních

Čistý kov	Vlastnosti	Použití
Měď (Cu)	Levná, tvorba cizích vrstev oxidací a sulfidací, vysoký přechodový odpor.	Vysoké zatížení kontaktu, olejové spínače vysokého napětí.
Stříbro (Ag)	Dobrá elektrická a tepelná vodivost, nekoroduje, citlivé na síru, sklon k přenosu materiálu a svaření.	Postříbřování kontaktů, tlačítkové spínače, kontakty relé, nevhodné pro kontakty vysokých výkonů
Zlato (Au)	Chemicky stálé, nízký přechodový odpor, měkké, sklon k opalování, lepení i přenosu materiálu.	Galvanické povlaky, zlacení kontaktů, pro malé zatížení a malé přitlačné síly, kontakty relé.
Platina (Pt)	Odolná proti mechanické erozi a opalu, stálá, malá vodivost, sklon k přenosu materiálu, vysoká cena.	Vysoká spolehlivost, slaboproudá a měřicí technika, relé, kontakty v korozním prostředí.
Palladium (Pd)	Velká tvrdost a odolnost proti opalu, přijímání plynů (vnitřní oxidace), levnější než platina.	Galvanické vrstvy, slitinový kov, kontakty relé.
Wolfram (W)	Vysoký bod tání, vysoká odolnost proti opalu, tvrdost, špatná el. vodivost, malý sklon k lepení, silná oxidace, nutný velký přitlak, obtížná zpracovatelnost.	Rychlé spínání, nízké výkony, např. reléové kontakty regulátorů.



4.3 Materiály na kontakty a spoje v el. zařízeních

Slitina	Vlastnosti	Použití
Ag-Cu	Větší tvrdost než Ag, menší opalování, menší sklon ke svařování, zmenšování elektrické vodivosti s časem.	Kontakty středních výkonů, mechanicky a tepelně namáhané kontakty, relé, vačkové spínače.
Ag-Cd	Vznik CdO při spínání, menší sklon ke svaření než u Ag, plošný přenos materiálu, citlivé na síru.	Kontakty stykačů, reléové kontakty se stejnosměrnou zátěží.
Ag-Pd	Tvrdé a odolné proti opalu, odolné vůči síře, menší sklon k vypařování a přenosu materiálu než Ag.	Sdělovací technika, dvojkovové kontakty, přerušovače.
Au-Pt Au-Ag Au-Ni	Chemicky velmi stálé, u slitin zlata větší tvrdost ve srovnání s čistým Au, slitiny s Pt relativně tvrdé a odolné proti opalu, slitiny Au-Ni odolné proti přenosu materiálů.	Kontakty pro nejvyšší nároky ve slaboproudé, vysokofrekvenční a měřicí technice, speciální aplikace, bimetalické kontakty.
Pt-Ir Pt-Ni Pd-Cu Pd-Ni	Odolnější proti opalu než slitiny zlata.	Obdobné jako slitiny zlata.



4.3 Materiály na kontakty a spoje v el. zařízeních

Slinovaný materiál	Vlastnosti	Použití
W-Ag-Ni	Vysoká odolnost proti opalu, malý sklon k přenosu materiálu, dobrá elektrická a tepelná vodivost.	Jeřábové spínače, odtrhovací kontakty v oblasti nízkého napětí.
Ag-CdO	Stálý a nízký přechodový odpor, menší sklony ke svaření, vyšší tvrdost než u slitin Ag, zamezení tvorby silných povrchových vrstev.	Vysoká četnost spínání při velkých proudech, kontakty stykačů a relé, kontakty výkonových vypínačů nízkého napětí.
Ag-C	Extrémní odolnost vůči svaření, malý přechodový odpor, malá odolnost proti opalu, citlivý na síru, kluzné vlastnosti.	Výkonové vypínače nízkého napětí, kartáče ke kroužkům, kluzné kontakty, výkonové omezovače proudu.
Ag-Ni	Velká tvrdost, dobrá elektrická vodivost, nízký a konstantní přechodový odpor, malý sklon k přenosu materiálu, odolnost proti opalu, malý sklon ke svařování.	Stejnoseměrné spínací přístroje s vysokou četností spínání, hlavní kontakty vypínačů a odpojovačů.
Ag-W	Sklon k tvorbě oxidů při spínání, odolnost proti opalu, vysoký bod tání, tvrdost, je nutná vysoká přitlačná síla.	Pomocné kontakty, jeřábové spínače, regulátory, přerušovače, výkonové vypínače nn.

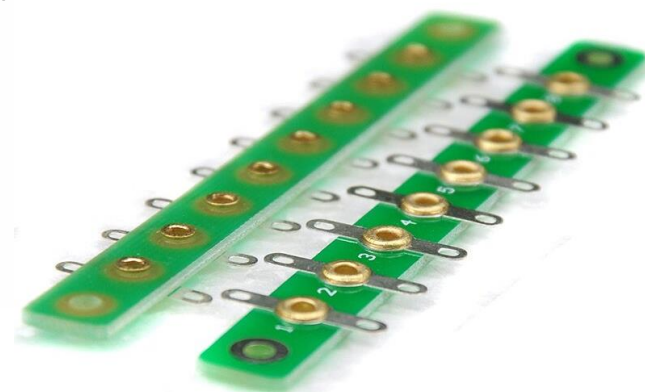


4.3.6 Spoje v elektrotechnice

Spoje používané v elektrotechnice **rozdělujeme** na:

1. Nerozebíratelné

- Svařované
- Pájené
- Lisované
- Nýtované



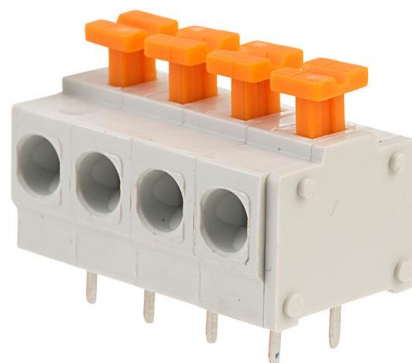
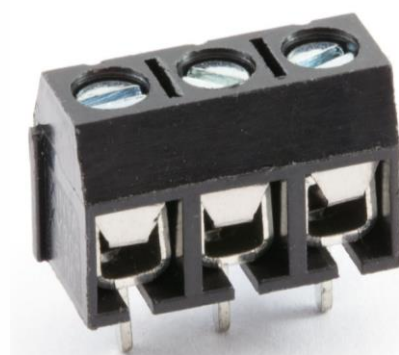
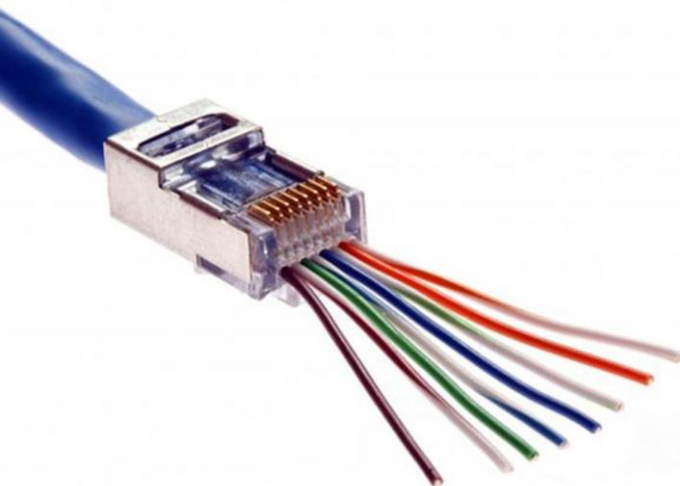
2. Rozebíratelné

- Mžikové – kontakty spínačů.
- Rozebíratelná sevření – vzájemný styk částí obvodů udržovaný mechanickým tlakem.



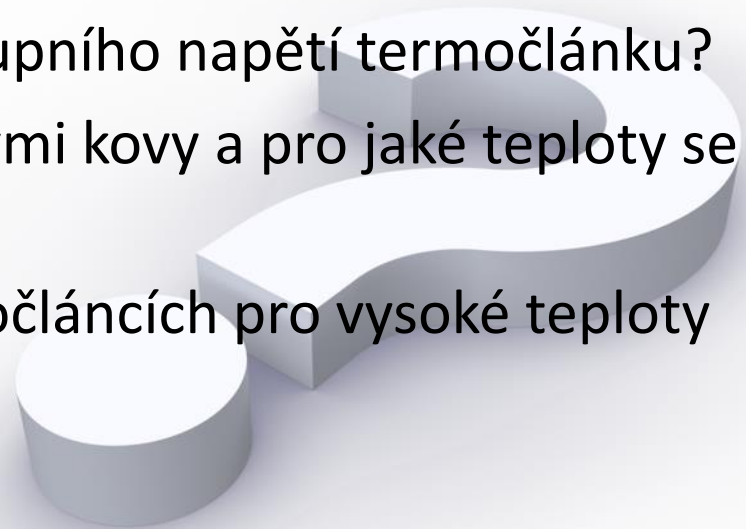
Připojovací prvky **rozebíratelných spojů**:

- **Šroubové svorky** (zdířkové, hlavičkové, svorníkové, plášťové, sevření kabelových ok a pásů)
- **Bezšroubové svorky**
- **Upínací jednotky prorážející izolaci**
- **Nasouvací svorky**
- **Ploché násuvné spoje**



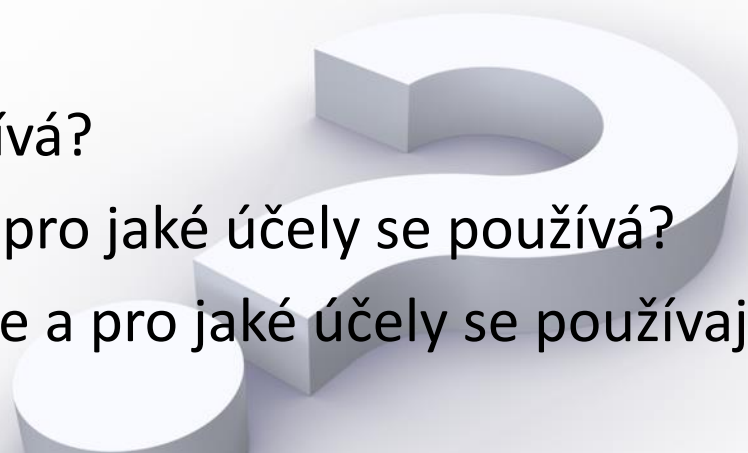
Kontrolní otázky

- Za jakých podmínek lze dosáhnout termoelektrického jevu?
- Co je to Seebeckova elektromotorická síla a v jakých jednotkách se udává?
- Co vše má vliv na velikost výstupního napětí termočlánku?
- Popište praktické uspořádání termočlánku. Co je to referenční konec termočlánku?
- Jak je v praxi udržována referenční teplota termočlánku?
- V jakém řádu lze očekávat velikost výstupního napětí termočlánku?
- Co je to *konstantan*? V kombinaci s jakými kovy a pro jaké teploty se obvykle používá?
- Která kombinace kovů převládá v termočláncích pro vysoké teploty (0 – 1 600 °C)?
- Co je to Peltierův jev?
- Jaké jsou výhody/nevýhody Peltierova článku?



Kontrolní otázky

- Co jsou to bimetaly a kde se používají?
- Jaká kombinace kovů/slutin je typicky vhodná pro vytvoření ohybového bimetalu?
- Jaké jsou výhody dvojkovových kontaktů a z jakých materiálů se typicky vyrábějí?
- Co jsou to odporové materiály a k čemu se používají?
- Jaký je rozdíl v požadavcích na odporové materiály pro měřicí a pro elektrotepelnou techniku?
- Co je to nikelin a pro jaké účely se používá?
- Co je to chromnikl, jaké má vlastnosti a pro jaké účely se používá?
- Jaké nekovové odporové materiály znáte a pro jaké účely se používají?
- Definujte pojem elektrický kontakt.
- Jaké znáte složky přechodového odporu kontaktu?
- Popište úžinový jev.



Kontrolní otázky

- Definujte požadavky na kontaktní materiály.
- Jaké výhody/nevýhody má využití ušlechtilých kovů v kontaktech?
- Jaký je rozdíl mezi „svařováním“ a „lepením“ kontaktů?
- Jak zabráňujeme tvorbě elektrického oblouku při rozpojení kontaktů?
- Jaká je nejpočetnější skupina materiálů používaných na kontakty? Jmenujte některé zástupce.
- Jaké jsou vlastnosti platiny jakožto kontaktního kovu?
- Jaká kontaktní slitina založená na stříbru je velmi odolná vůči síře?
- Do jakých skupin dělíme spoje v elektrotechnice? Jmenujte některé příklady.

