

KEE/ZETP

Základy elektrotepelných procesů

Garant/přednášející: Ing. David Rot, Ph.D.

Přednášející: Ing. prof. Jiří Kožený, CSc.

Cvičící: Ing. David Rot, Ph.D.

Ing. Stanislav Jiřinec

Ing. Jakub Jiřinec

Obsah a cíle předmětu KEE/ZETP

- Principy přeměn elektrické energie na užitečné teplo pro účely technologické, ohřevy užitkové vody a pro vytápění.
- Seznámení s indukčními, obloukovými, odporovými, mikrovlnnými, dielektrickými, plazmovými, elektronovými, laserovými zařízeními a se zdroji pro napájení elektrotepelných zařízení.
- Možnosti zvyšování účinnosti elektrotepelných zařízení a příklady průmyslových elektrotepelných technologií.
- Výhody elektrotepelných zařízení v porovnání s jinými neelektrickými zařízeními podle hodnocení energetického, ekonomického a ekologického.

Podmínky absolvování předmětu KEE/ZETP

- Pro získání zkoušky je potřeba:
- Pro připuštění ke zkoušce musí student během semestru absolvovat test, který proběhne v rámci cvičení a získat zápočet ze cvičení
- Zkouška samotná je rozdělena na 3 části.
- 1) Písemný test:
Student dostane zadáno 20 základních otázek, na které musí během krátkého intervalu zareagovat, jedné se o elementární otázky sloužící k ověření schopnosti studenta prakticky použít získané znalosti. Za úspěšné absolvování testu a postup do dalšího kola se považuje, pokud je test zvládnut nad 50% (nad 10 bodů z 20).
- 2) Písemná příprava:
Student si vytáhne jednu kartičku, kde nalezne čísla 2 otázek, které musí obšírněji vypracovat. Při vypracování může student používat libovolnou literaturu, či své poznámky.
- 3) Ústní část:
Zde je třeba pomocí vlastní přípravy odpovědět na zadané otázky.

Harmonogram přednášek KEE/ZETP

- 1. Úvod, fyzikální principy přeměn elektrické energie v užitečné teplo
- 2. Sdílení tepla v elektrotepelných zařízeních
- 3. Elektrický odporový ohřev - základy, aplikace
- 4. Elektrické vytápění
- 5. Indukční ohřevy - základy
- 6. Aplikace indukčních ohřevů pro tavení a prohřívání
- 7. Aplikace indukčních ohřevů pro povrchové ohřevy
- 8. Mikrovlnný a dielektrický ohřev
- 9. Ohřev elektrickým obloukem
- 10. Plazmový, elektronový a laserový ohřev
- 11. Zvyšování účinnosti elektrotepelných zařízení
- 12. Vlivy elektrotepelných zařízení na napájecí síť, na pracovní a životní prostředí

Doporučená literatura KEE/ZETP

- Rada J., Elektrotepelná technika , Praha : SNTL 1985
- Langer E., Elektrotepelná technika , Plzeň : VŠSE 1969
- Langer E., Elektrotepelná technika. část I, II, Společné základy, elektrické pece odporové , Plzeň : VŠSE 1974
- Hradílek Z., Elektrotepelná zařízení , Praha : IN-EL 1997
- Langer E.; Kožený J., Elektrotepelná zařízení indukční : základy teorie, výpočty a konstrukce , Plzeň : VŠSE 1982
- Kegel K., Elektrowärme. Theorie und Praxis , Cornelsen Verlag GmbH + C 1994
- Rudnev V., Handbook of induction heating , New York : Marcel Dekker 2003
- Starck A., Alfred C., Handbook of thermoprocessing technologies : fundamentals, processes, components, safety , Essen : Vulkan-Verlag 2005
- Linda J.; Mühlbacher J., Návodý ke cvičení z elektrického tepla II , Plzeň : ZČU 1993
- Racknagel H., Sprenger E., Schramek E. R., Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik einschliesslich und Kältetechnik , München : Oldenbourg 1999
- Langer E., Teorie indukčního a dielektrického tepla , Praha : Academia 1979
- Halliday D., Resnick R., Walker J., Fyzika, Brno: VUT IUM 2003
- V rámci přednášek bude dále rozšiřována

Vstupní test KEE/ZETP

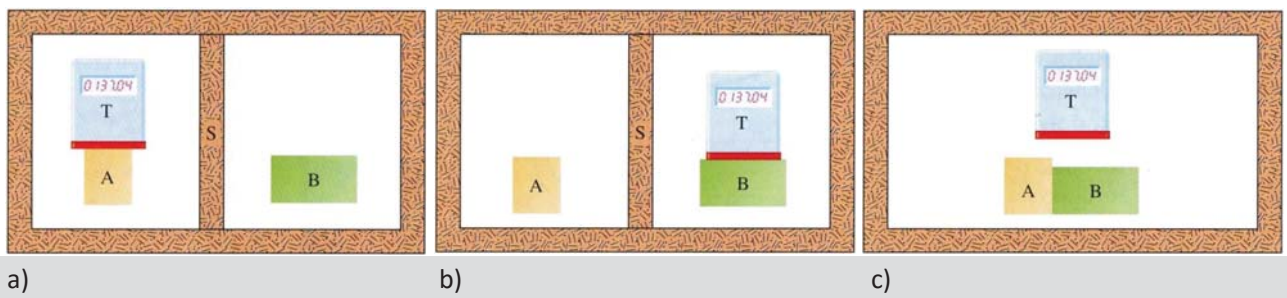
- 1) Přepočtete 50 °C na K.
- 2) Jakou fyzikální veličinu a v jakých jednotkách měří elektroměr?
- 3) Jakými způsoby se šíří teplo obecně?
- 4) Elektromagnetické vlnění se šíří rychleji v prostředí elektricky vodivém nebo v elektricky nevodivém?
- 5) Které veličiny určují Jouleovy ztráty?
- 6) Co je to magnetron?
- 7) Které složky tvoří elektromagnetické vlnění?
- 8) Pro hloubku pronikání elmg. vlnění do el. vodivé stěny platí vztah
$$a = \sqrt{\frac{2}{\omega \gamma \mu}}$$
, jak se bude měnit „a“? Bude s rostoucím kmitočtem (↑ nebo ↓)?
- 9) Je správně vztah pro proudovou hustotu v podobě $\mathbf{J} = \gamma \mathbf{E}$?
- 10) Který z následujících materiálů je magnetický: mosaz, hliník, konstrukční ocel, měď, železo?

Fyzikální principy přeměn elektrické energie v užitečné teplo

• Termodynamika

- Se zabývá vnitřní (potencionální a **kinetickou**) energií systémů
- Centrálním pojmem termodynamiky je teplota, toto slovo je jistě všem důvěrně známé, hmatem jsme schopni rozlišit chladné a horké, tak o přesnějším významu mnohdy neuvažujeme. Ovšem náš smysl pro teplotu není vždy věrohodný.
- Např. lavička v zimě – dřevěné a kovové součásti.
- **Dotykem lidské tělo registruje tepelné toky a nikoliv teplotu!**
- Teplota je jednou ze sedmi základních veličin SI (délka, hmotnost, čas, termodynamická teplota, proud, svítivost, látkové množství), pro vědecké účely se nejčastěji udává ve stupních Kelvina.
- Ačkoliv nejvyšší dosažitelná teplota těles může nabírat libovolně vysokých hodnot, nejnižší dosažitelná hodnota teploty je jasně definována jako 0 K (-273,15 °C)

Fyzikální principy přeměn elektrické energie v užitečné teplo



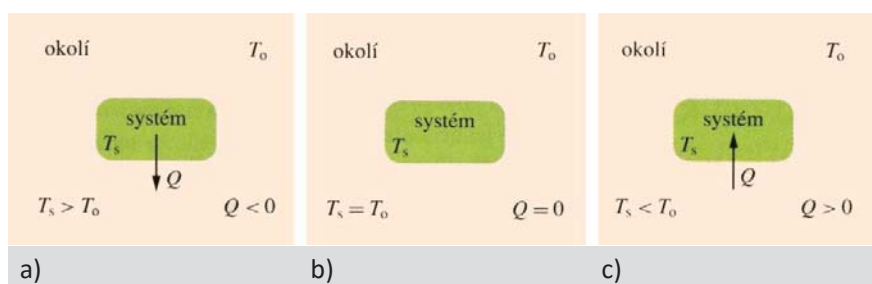
- a) Těleso T (termoskop) a těleso A jsou v tepelné rovnováze. (Těleso S je teplotně izolující stěna.)
b) Těleso T a B jsou také v tepelné rovnováze s tímto údajem termoskopu.
c) Je-li pravda (a) i (b), pak nulový zákon termodynamiky tvrdí, že i tělesa A a B budou navzájem v tepelné rovnováze, **tzn. budou mít stejnou teplotu.**

Nulový zákon termodynamiky:

Je-li každé z těles A i B v tepelné rovnováze se třetím tělesem T, budou v tepelné rovnováze také tělesa A a B navzájem. K očíslování stavu tepelné rovnováhy stačí jediný spojitě proměnný parametr – teplota.

- **Co tedy značí pojem teplo?** (užitečné teplo získané přeměnou z el. energie)
- **Hovoříme-li o teple hovoříme o přenesené tepelné energii, tedy o kinetické energii spojené s náhodným pohybem atomů, molekul a jiných mikroskopických částic zkoumaného předmětu.**
- **K výměně tepelné energie mezi systémem a okolím dochází v důsledku rozdílných teplot mezi nimi.**
- **Rozeznáváme tři základní způsoby šíření/sdílení tepla – vedení, proudění, sálání**
- Tepelná energie je v drtivé většině případů naprosto neuspořádaná - nahodilá
- Pozor nezaměňovat tepelnou energii s energií vnitřní. Vnitřní energie je souhrn potenciální (polohové) a **kinetické** energie.
- Vezmete-li si lahev piva z chladničky a necháte-li ji na stole, její teplota poroste- nejdřív rychle, potom volněji až se vyrovná s teplotou místnosti (lahev i místnost budou v tepelné rovnováze). Podobně bude chladnout horký sálek kávy, zapomenutý na stole, až se jeho teplota vyrovná s teplotou místnosti.

- Zobecníme tuto situaci: pivo nebo kávu označíme jako systém (s teplotou T_s) a příslušnou část kuchyně jako okolí (s teplotou T_o) tohoto systému.
- Zjistili jsme, že pokud T_s není rovno T_o , pak se T_s mění (i T_o se při tom může měnit) tak dlouho, dokud se teploty nevyrovnají; pak bude dosaženo tepelné rovnováhy.
- Taková změna teploty je způsobena přenosem energie mezi systémem a jeho okolím. Mění se přitom **vnitřní energie**, což jak již bylo řečeno je souhrn potenciální a **kinetické** energie spojené s *náhodným* pohybem atomů, molekul a jiných mikroskopických částí zkoumaného předmětu.
- Přenos nastává zpravidla tím, že systém a jeho okolí mají různé teploty. Energie takto přenesená se nazývá teplo a značí se Q . Teplo bereme jako *kladné*, je-li dodáno do systému z okolí (někdy říkáme, že bylo teplo systémem pohlceno). Teplo je *záporné*, jestliže přeslo ze systému do jeho okolí (říkáme, že bylo teplo uvolněno, předáno, příp. vyzařeno). Nechceme-li určit směr přenosu energie, mluvíme o teple vyměněném s okolím.



- Je-li tedy teplota systému vyšší než teplota okolí, jako v případě
 - (a) předává systém teplo do okolí (tj. ztrácí teplo) tak dlouho, až je dosaženo tepelné rovnováhy, tj. rovnosti teplot (b). Je-li teplota systému nižší než teplota okolí (jako v případě (c)), předává okolí teplo do systému (tj. systém pohlcuje teplo z okolí) tak dlouho, až je dosaženo rovnováhy.
- To nás vede k následující definici tepla:
 - **Teplo je energie vyměněná/přenesená mezi systémem a okolím jako důsledek teplotního rozdílu mezi nimi.**

- **Jednou ze základních veličin při teplotních výpočtech je měrná tepelná kapacita**

- **Tepelná kapacita C [J K^{-1}]**

- Tepelná kapacita c nějakého předmětu (např. šálku na kávu nebo mramorové desky stolu) je konstanta úměrnosti mezi množstvím tepla dodaného předmětu a tím způsobenou změnou jeho teploty.

- **Měrná tepelná kapacita c (tepelná kapacita vztažená k hmotnosti)**

- c [$\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$], jak napovídá rozměr měrné tepelné kapacity, tak tato hodnota udává množství tepelné energie jaké je 1 kg látky schopen akumulovat při zvýšení teploty o 1 K.

LÁTKA	c $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
<i>Pevné prvky</i>	
Olovo	128
Wolfram	134
Stříbro	236
Měď	386
Hliník	900
<i>Jiné pevné látky</i>	
Mosaz	380
Žula	790
Sklo	840
Led (-10°C)	2 220
<i>Kapaliny</i>	
Rtuť	140
Lih (ethanol)	2 430
Mořská voda	3 900
Voda	4 190

- **Zahřívání pevných látek a kapalin – ilustrační příklad**

- Stanovte potřebné množství elektrické energie nutné k dosažení teploty (T_v) varu 1 litru vody v elektrické rychlovarné konvici (zanedbejte její účinnost, která typicky bývá kolem 90%).
- Počáteční teplota vody (T_p) je 0,1 °C.
- $Q = m \cdot c \cdot (T_v - T_p)$ [J ; kg , J*kg⁻¹*K⁻¹ , K]
- $c = 4180$ [J*kg⁻¹*K⁻¹]

- **Zahřívání pevných látek a kapalin – ilustrační příklad**

- Stanovte potřebné množství elektrické energie nutné k dosažení teploty (T_v) varu 1 litru vody v elektrické rychlovarné konvici (zanedbejte její účinnost, která typicky bývá kolem 90%).
- Počáteční teplota vody (T_p) je 0,1 °C.
- $Q = m \cdot c \cdot (T_v - T_p)$ [J ; kg , J*kg⁻¹*K⁻¹ , K]
- $c = 4180$ [J*kg⁻¹*K⁻¹]
- $Q = 1 \cdot 4180 \cdot 100 = 418\,000$ [J]
- Převeďte na kWh
- 0,116 kWh
- Stanovte finanční náklady uvedeného ohřevu (uvažujte 5,- Kč za kWh)
- 0,58 Kč

• **Další technologicky využitelnou vlastností při tepelných procesech je teplotní roztažnost**

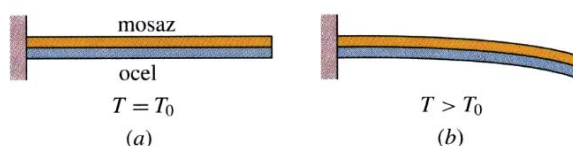
- Teplotní roztažnost v každodenní praxi: Často můžeme snadno uvolnit kovové víčko na zavařovačce, když na víčko pustíme proud horké vody. Jak kovové víčko, tak skleněná zavařovačka se roztahuje tím, že horká voda dodává energii jejich atomům. (S trochou energie navíc mohou atomy částečně překonat meziatomové síly, které je jako pružiny drží pohromadě, a tím se dostat ze své obvyklé polohy o něco dál od sebe.) Protože se však atomy kovu navzájem vzdálí více než atomy tvořící sklo, víčko se roztáhne více než sklenice a *tím* se uvolní.
- Technologické využití: Lisování za tepla (např. zděř TR, upínání nástrojů), bimetalový proužek (teploměry a termostaty)

Teplotní roztažnost nemusí být vždy žádoucí

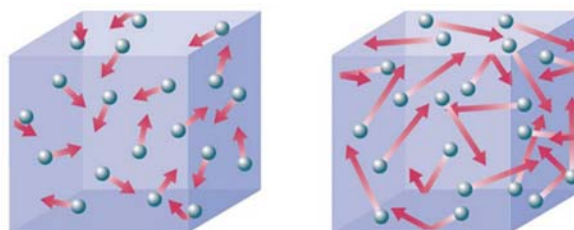


Železniční koleje v Asbury Park, New Jersey, zkroucené vlivem teplotní roztažnosti za velmi horkého červencového dne.

Fyzikální principy přeměn elektrické energie v užitečné teplo



Bimetalový proužek (bimetal) je tvořen proužkem mosazi a oceli, svařenými k sobě. (a) Bimetal při referenční teplotě T_0 . (b) Bimetal se ohýbá podle obrázku při teplotách vyšších než referenční. Při teplotách nižších se ohýbá na druhou stranu. Mnoho termostatů pracuje na tomto principu tak, že bimetal sepne, resp. rozpne elektrický kontakt (pece, žehličky), když teplota klesne, resp. vzroste.



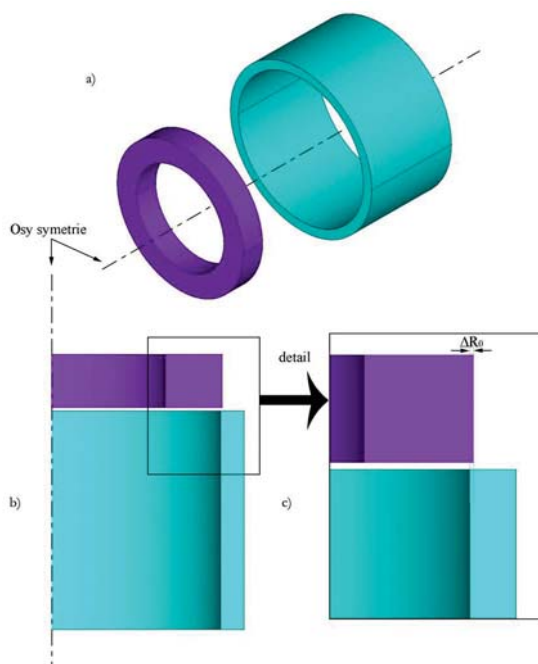
Indukční ohřev obruče turborotoru

Úkol:

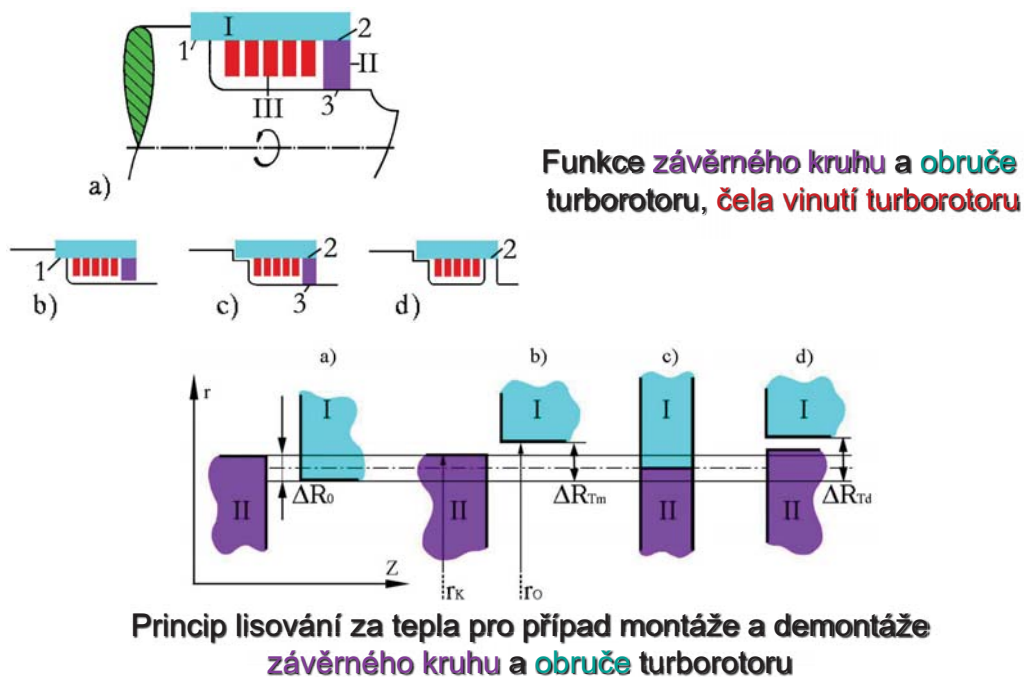
Provést počítačovou simulaci indukčního ohřevu pro montáž a demontáž obruče s cílem navrhnout nejefektivnější vzájemné uspořádání (obruče a cívky), používané v podniku BRUSH SEM Plzeň.



Cívka používaná v podniku
BRUSH SEM Plzeň
pro indukční ohřev obručí
turborotorů



Model odděleného
závěrného kruhu
(náboje)
a obruče turborotoru
(před montáží)



Fyzikální principy přeměn elektrické energie v užitečné teplo

• Přehled nejrozšířenějších aplikací založených na přeměně elektrické energie na energii tepelnou

- Elektrický odporový ohřev (přímý a nepřímý)
- Indukční ohřev
- Mikrovlnný ohřev
- Dielektrický ohřev
- Obloukový ohřev
- Plazmový ohřev
- Elektronový ohřev
- Laserový ohřev

- **Zdroje elektrického tepla (druhy elektrotepelných zařízení)**

- Elektrický ohřev:

- Elektrický ohřev je proces, při kterém je přiváděná tepelná energie (potřebná k ohřevu) získávána z elektrické energie

- Výhody elektrického ohřevu:

$$W_{el} = \int_0^T U \cdot i \cdot dt \quad (\text{kWh; V, A, hod})$$

- poměrně vysoká účinnost
- malá investiční náročnost (oproti plynu, naftě)
- malé náklady na údržbu (robustnost topných systémů)
- malé rozměry a tím i nároky na prostor
- ekologické hledisko (špína, prach ...)
- dobré řízení popř. regulovatelnost (přepínáním, pulzním spínáním, řízením napětí)
- bezpečnost provozu (nepřítomnost plynu, ohně)
- příznivý k okolnímu prostředí
- Nevýhody elektrického ohřevu:
- poměrně vysoká cena elektrické energie oproti jiným formám energie; tento rozdíl se má
- dále prohlubovat

- **Elektrické odporové teplo vzniká průchodem elektrického proudu elektricky vodivým prostředím.**

- Přeměna elektrické energie v teplo je dána Joulovým zákonem, dle kterého lze určit množství tepla Q pomocí vztahu

$$Q = R \cdot \int_0^T i^2 dt \quad [\text{J; } \Omega, \text{ A, s}]$$

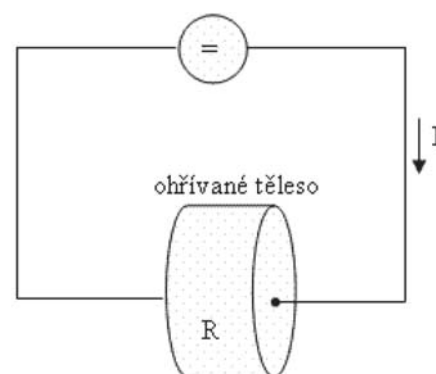
- Kde R ... odpor vodiče (vodivého materiálu, prostředí)
- i efektivní hodnota proudu
- T doba průchodu proudu elektricky vodivým materiálem
- V případě konstantní (časově neproměnné) hodnoty proudu lze výše uvedený vztah zjednodušeně vyjádřit $Q = R \cdot I^2 \cdot T$ [J; W, A, s]
- Podle vzniku a využití odporového tepla k ohřevu rozeznáváme tyto způsoby ohřevu
- **Přímý odporový ohřev**
- **Nepřímý odporový ohřev**

- **Přímý odporový ohřev**

- Teplo zde vzniká přímým průchodem proudu ohříváním materiálem (vsázkou)
- Teoretické základy tohoto ohřevu jsou dány Joulovým zákonem

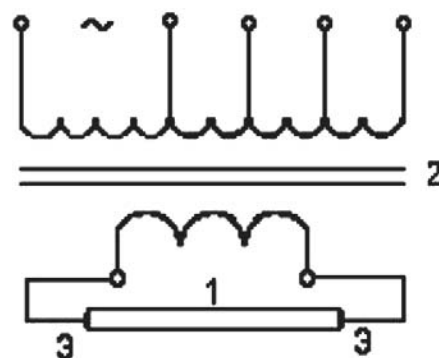
$$Q = R \cdot \int_0^{t_o} i^2(t) dt \approx R \cdot I^2 \cdot t_o \quad [J; \Omega, A, s]$$

- Udávajícím závislost vzniklého tepla Q na odp. R , proudu a době ohřevu t_o .
- Energetickou bilanci ohřevu lze vyjádřit vztahem
- $Q = Q_u + Q_z$, kde
- Q_u užitečné teplo potřebné k ohřevu vsázky
- Q_z tepelné ztráty okolí vsázky
- Potřebný elektrický výkon k ohřevu $P = Q/t$



- Skutečný elektrický příkon se pak dále zvětší o tepelné ztráty sázecího zařízení, elektrické ztráty na přívodech a napájecím transformátoru, příkon elektrických pohonných mechanismů atd.
- Podle druhu vsázky lze tato zařízení dále rozdělit na
 - zařízení pro ohřev pevné vsázky (kovová – tyče, dráty, pásy uhlíková, grafitová,
 - zařízení pro ohřev tekuté vsázky (voda, sklo, solná lázně, elektrolyzéry)

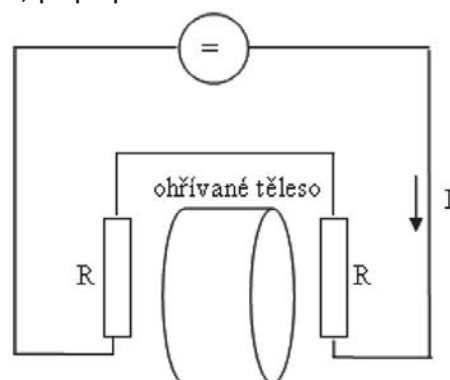
- Příklad aplikace elektrického přímého ohřevu
- Ohřev dlouhých tyčí, drátů, pásů apod.



- Elektrický obvod přímého ohřevu tyče ($l \gg d$)
- Princip je zřejmý z obr. do tyče 1 je přiváděn z napájecího transformátoru (s odbočkami vinutí) 2 přes kontakty 3 poměrně velký proud způsobující ohřev tyče.
- Uvedený způsob ohřevu lze použít i na průběžný ohřev pohybujícího se materiálu, kde přívodní kontakty jsou v provedení kladek.

• Nepřímý odporový ohřev

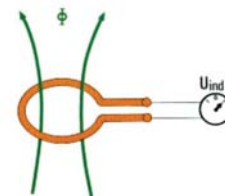
- V zařízeních s nepřímým odporovým ohřevem vzniká teplo v topných článcích umístěných přímo v pecním prostoru. Do vsázky se pak teplo přenáší převážně sáláním topných článků a vyzdívky, prouděním atmosféry v pecním prostoru, popřípadě i vedením.



- Požadavky kladené na topné články:
 - Odolnost proti žáru při pracovní teplotě
 - Velká mechanická pevnost
 - Odolnost proti vlivům atmosféry
 - Velká rezistivita (měrný odpor) možnost větších průřezů a přímé připojení k síti.
 - Stálost rezistivity během životnosti
 - Malý teplotní součinitel odporu a malá teplotní roztažnost
- V zásadě tyto požadavky splňují použité materiály, které lze rozdělit do dvou skupin:
 - Materiály kovové (slitiny Ni, Cr, Fe, Al, čisté kovy, ocel atd.)
 - Materiály nekovové (karbid křemíku, cermet, uhlík, grafit)

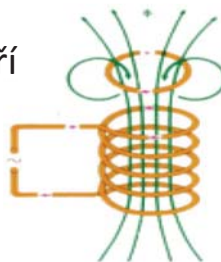
- **Indukční ohřev (Indukční elektrotepelná zařízení)**

- Nachází-li se závit cívky v elektromagnetickém střídavém poli - F , indukuje se v něm napětí – U_{ind}

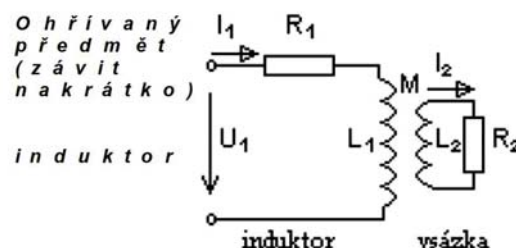


- Vložením kovového (vodivého) předmětu do střídavého magnetického pole dochází v tomto předmětu k indukovaní proudů, které jsou v důsledku působení magnetického pole (kmitočet - skin efekt) vytlačovány na povrch.
- Tím zde dochází ke zhušťování proudových siločar a k vývinu Joulova tepla

- Na následujícím obr. představuje spodní cívka induktoru, který vytváří elektromagnetické střídavé pole.



- Vrchní zkratovaná(!) cívka je ohříváný předmět. V této cívkce se indukuje napětí, které má za následek tok proudu. Tento proud způsobuje vývin tepla a tím ohřátí materiálu.



- Indukční ohřev je možný jen u materiálů elektricky vodivých (za určitých okolností je však možné indukčně ohřívat i materiály za pokojové teploty elektricky nevodivé). V předmětu z vodivého materiálu, který je vložen do střídavého magnetického pole se indukují vířivé proudy, které předmět zahřívají.
- Často se zjednodušeně přirovnává indukční ohřev k transformátoru, kde výstupní vinutí představuje vsázka a je spojeno nakrátko. Primární obvod tvoří ohřívací cívka induktoru, sekundární obvod tvoří vsázka, nebo soustava vsázek. Vsázka je buď v dutině ohřívací cívky (induktoru) nebo v její blízkosti a má s ní vzájemnou indukčnost M .
- Doprava tepla do vsázky se tedy neděje tepelným spádem jako například u zařízení odporových (s nepřímým ohřevem). Teplo se dopravuje střídavým magnetickým polem a vzniká přímo ve vsázce.
- Induktor není v kontaktu s ohřívanou vsázkou, jako je tomu např. v případě přímého odporového ohřevu
- Vsázka je nejteplejším objektem celé soustavy, přičemž vše ostatní může být chladné.
- Vznik tepla přímo ve vsázce, která není mechanicky s ničím vázána, patří k největším výhodám indukčního ohřevu.
- Množství vyvinutého tepla lze odhadnout z $Q \approx k \cdot \rho \cdot f^2 \cdot B^2 \cdot t$

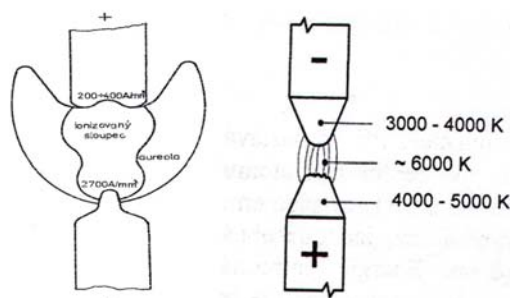
- **Kelímkové a kanálkové indukční pece** - ty slouží k tavení různých kovů jako jsou zinek, olovo, měď, hliník a další kovy až po ocel. Oproti jiným pecím, zvláště obloukovým, mají tu výhodu, že umožňují připravit kovy čistší, protože v obloukové peci se do taveniny může dostat materiál z elektrod.
- **Indukční ohřevy pro tváření** - zde je důležité aby se materiál prohřál rovnoměrně v celém objemu a toho se dá dosáhnout vhodnou volbou tvaru induktoru, kmitočtu a doby ohřevu.
- **Indukční ohřev pro kalení** - stejně jako v předchozím případě se dá správnou volbou výše uvedených parametrů dosáhnout toho, aby se naopak prohřála pouze tenká povrchová vrstva, což je potřeba pro povrchové kalení, nebo jinou povrchovou úpravu.
- **Indukční svařování** - pomocí speciálně upraveného induktoru se dají například svařovat švy při výrobě trubek z pásů plechu.
- **Indukční pájení** - provádí se tak, že mezi pájené části kovu se vloží pájka, součásti se přitisknou na sebe a vloží do induktoru, který je prohřeje tak, aby se pájka roztavila. Tato metoda se používá například u pájení mnoha pinových konektorů pro výpočetní techniku nebo pro pájení vývodů na vinutí velkých synchronních generátorů.
- **Indukční plazma** - principem této aplikace indukčního tepla je to, že se provede ionizace plynu (nejčastěji argonu) nějakým vnějším zdrojem, tím se plyn stane vodivým a jeho další udržování v tomto stavu se děje indukčním ohřevem. Indukční plazma se používá v plazmové chemii a práškové metalurgii.
- **Tavení ve vakuovém kelímku** - protože mezi induktorem a kelímkem nemusí být fyzický kontakt, je možné aby kelímk byl uzavřený, a jeho prostor vysoce čistý. Toho se používá například při výrobě křemíkových monokrystalů pro polovodiče. Křemík se taví ve vakuu ve vodivém kelímku, jenž se ohřívá indukčně.
- **Tavení ve studeném kelímku** – umožňuje dosahovat teplot až 3500 °C, dokonalé čistoty taveniny a tavení oxidů kovů

- **Dielektrický ohřev**
- Dielektrická tepelná zařízení jsou analogická se zařízeními indukčními s tím, že se zde uplatňuje elektrická složka vlnění a pracovním nástrojem je zde kondenzátor.
- Uvnitř jeho dielektrika se nachází vsázka.
- V důsledku změny směru působení elektrického pole dochází k vzájemnému tření dipólů a ke vzniku tepla.
- Slouží k ohřevu elektricky nevodivých materiálů.
- Množství vyvinutého tepla je přímo úměrné napětí, kmitočtu a je závislé na vlastnostech materiálu (ztrátový úhel delta a permitivita) a nepřímo úměrné vzdálenosti elektrod.
- Jeho praktické použití je :
 - v dřevařském průmyslu (výroba překližek, sušení, apod.)
 - pro ohřev plastických hmot pro jejich tvarován
 - pro svařování plastických hmot (včetně fólií)
 - pro ohřevy při výrobě sklolaminátu.
- Pro dielektrický ohřev se používají vysoké kmitočty do cca 300 MHz, které se volí mimo oblast radiokomunikací (např. 13,6, 17, 20, 27 MHz). Tyto kmitočty jsou vyráběny v elektronkových generátorech

- **Mikrovlnný ohřev** je zvláštním druhem dielektrického ohřevu. Použitý kmitočet je v jednotkách GHz (v případě běžně dostupné MT v domácnostech je pracovní kmitočet přesně 2,45 GHz) a pracovní kondenzátor je zde nahrazen dokonale uzavřeným prostorem tzv. multimódovým rezonátorem, jehož stěny jsou provedeny z dobře vodivého materiálu (nejčastěji hliníkový plech).
- K dosažení rovnoměrného ohřevu se vsázka otáčí, nebo se provádí „míchání“ stojatého vlnění otáčejícím se hliníkovým křídélkem.
- Vysoký kmitočet je vyráběn ve speciální elektronce tzv. magnetronu. Použití mikrovlnného ohřevu v průmyslu je obdobné jako u dielektrického ohřevu. Navíc se používá k pasterizaci potravin a k ohřívání jídel a potravin.
- Jeho hlavní předností je rychlost ohřevu a tím i energetická výhodnost v důsledku snížení ztrát.
- Z bezpečnostních a hygienických důvodů nesmí tato zařízení vyzařovat energii mimo pracovní prostor.
- Při otevření dvířek musí dojít k blokování chodu zařízení.
- Pro bezpečný provoz dielektrických a mikrovlnných elektrotepelných zařízení platí obecné předpisy a normy.

• Elektrické teplo obloukové (oblouková elektrotepelná zařízení)

- Vznik elektrického oblouku lze vysvětlit na jednoduchém případě elektrického obvodu napájeného ss zdrojem napětí E , obsahující regulační odpor R a proměnlivý odpor oblouku R_0 .
- Oblouk vzniká mezi dvěma elektrodami. Přiblížíme-li obě elektrody ke vzájemnému dotyku, začne obvodem protékat proud I , daný veličinami obvodu E , R . Opatrným oddálením elektrod dochází ke vzniku elektrického oblouku, který hoří v parách materiálu elektrod a v částicích vzduchu.
- Obloukový výboj je složen z ionizovaného sloupce, kterým protéká proud a okolních plynů tzv. aureoly.
- Délka výboje je dána vzdáleností elektrod (anody a katody). Při delším hoření oblouku dochází k tvarování katody do kužele a u anody dochází v její střední části k prohloubení.



- **Plazmový ohřev**

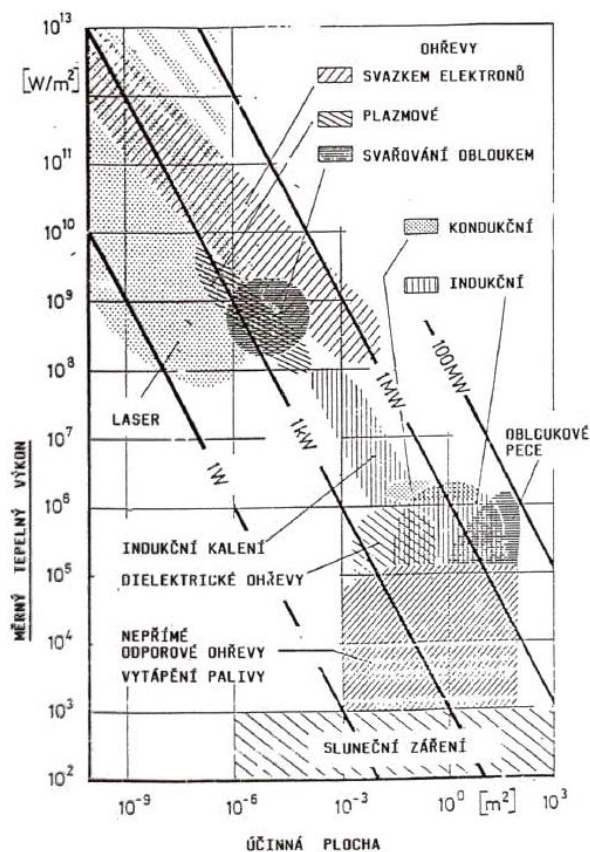
- Využívá se zde nízkoteplotního plazmatu o teplotě v rozmezí (10000÷ 14000) °C vytvořeného v plazmovém hořáku. Tyto hořáky využívají elektrického oblouku koncentrovaného tryskou s aerodynamickým spolu-účinkem plazmotvorného plynu (argon) a formováním sloupce plazmatu induktorem.
- Použití plazmových hořáků je pro svařování a řezání kovů, ke stříkání vysoce tavitelných materiálů a ve speciální plazmové metalurgii (plazmové pece). Mezi hlavní výhody patří nižší provozní náklady a kvalita taveného produktu.

- **Elektronový ohřev**

- Elektrická energie se zde mění v teplo dopadem urychlených elektronů na vsázku, kde odevzdávají svou kinetickou energii.
- Elektronový paprsek je tvořen z volných elektronů získaných ze žhavené katody, který je dále urychlován a tvarován v dalších zřízeních.
- Toto konstrukční uspořádání je označováno jako elektronové dělo, které může být v různých provedeních (axiální, s prstencovou katodou, s příčným paprskem) .
- Anodu tvoří buď tavený materiál (u pecí) nebo je samostatná a tvoří urychlovací prostředek pro elektronové paprsky dopadající na ohříváný materiál, jejichž směr lze ovlivňovat magnetickým polem pomocných cívek (magnetické čočky).

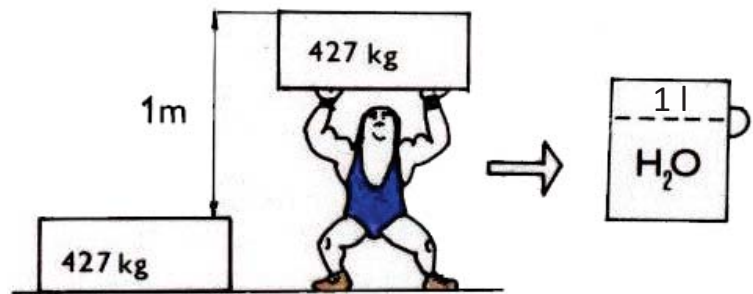
• Ohřev pomocí laserů

- Laser je kvantový generátor elektromagnetického vlnění s kmitočtem v oblasti světla (řádově 10^{14} Hz).
- Ohřívaný materiál pohlcuje laserové paprsky, jejichž energie se mění absorpcí v teplo.
- U kovů proniká laserový paprsek do hloubky, která je zlomkem vlnové délky záření.
- Vlastní absorpce je nepřímo úměrná vlnové délce a elektrické vodivosti materiálu.
- Lépe se tedy ohřívá ocel než elektricky vodivější materiály (jako např. měď, stříbro, zlato, hliník)
- Použití je v lékařství, ve vojenské technice a v průmyslu (např. dolegování a přetavování povrchových vrstev, povrchové kalení, svařování, opracování, vrtání, řezání).
- Mezi základní nevýhody patří nízká energetická účinnost (pod 1 %)



• Energetická náročnost výroby tepla

O kolik °C by se ohřál 1 l vody,
pokud bychom mu dodali stejné množství energie
jako je potřeba pro vyzvednutí břemene
o váze 427 kg do výšky 1 m?



• Energetická náročnost výroby tepla

$$F_g = m \cdot g = 427 \cdot 9,81 = 4\,189$$

$$W = F_g \cdot d = 4\,189 \cdot 1$$

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

$$4\,189 = 1 \cdot 4\,180 \cdot \Delta T$$

$$\Delta T = 4\,189 / (1 \cdot 4\,180)$$

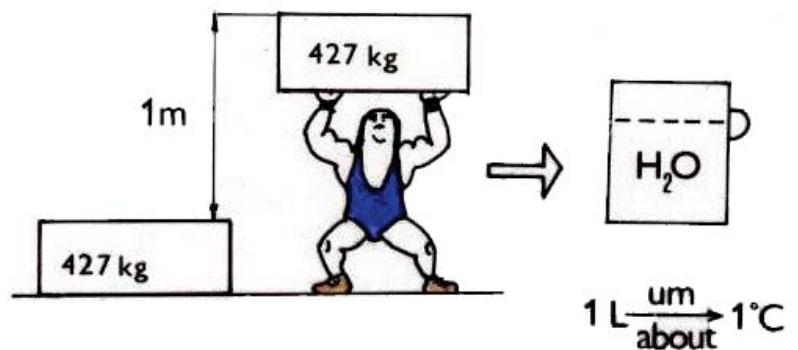
$$\Delta T = 1\,^{\circ}\text{C}$$

$$J = \text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2} \text{ (též } \text{N} \cdot \text{m})$$

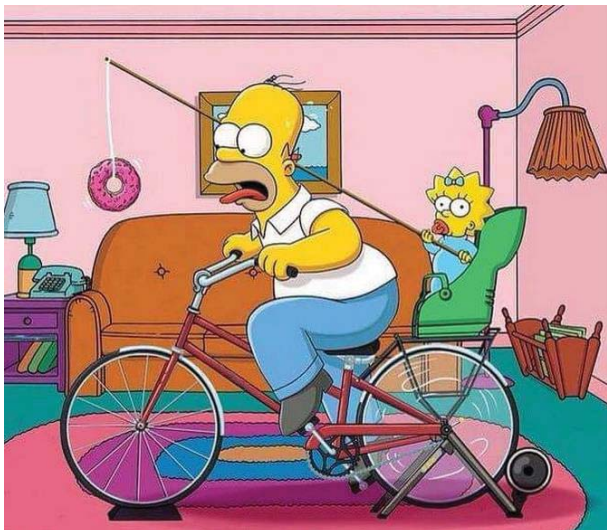
$$[\text{N}; \text{kg}, \text{m} \cdot \text{s}^{-2}]$$

$$[\text{J}; \text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{m}]$$

$$[\text{J}; \text{kg}, \text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}, \text{K}]$$

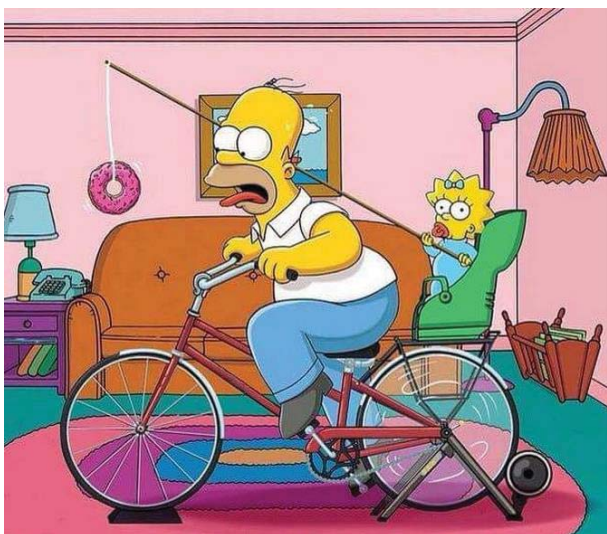


- Energetická náročnost výroby tepla ergometr



Určete jaké množství vody dokáže šlapáním na ergometru ohřát Homer S. z 10 °C na 100 °C, pokud bude usilovně šlapat 4 min. při zátěži 200W?

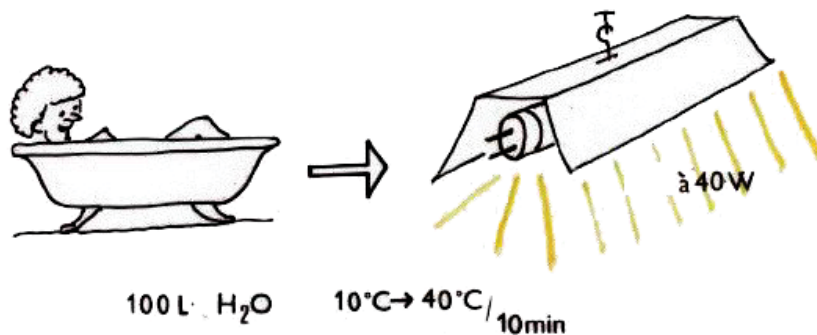
- Energetická náročnost výroby tepla ergometr



Jaké množství vody dokáže šlapáním na ergometru ohřát Homer S. z 10 °C na 100 °C, pokud bude usilovně šlapat 4 min. při zátěži 200W?

$$\begin{aligned} W &= 4 \cdot 60 \cdot 200 = 48\,000 \text{ J} \\ 48\,000 &= m \cdot 4\,180 \cdot 90 \\ m &= 48\,000 / (4\,180 \cdot 90) \\ m &= 0,128 \text{ kg} = 0,128 \text{ l} \end{aligned}$$

Kolik (n) 40 W žárovek by vydrželo svítit po dobu 10 min, kdybyste pro jejich napájení použili stejný zdroj, který by zajistil ohřátí 100 l vody během 10 min z 10 °C na 40 °C?



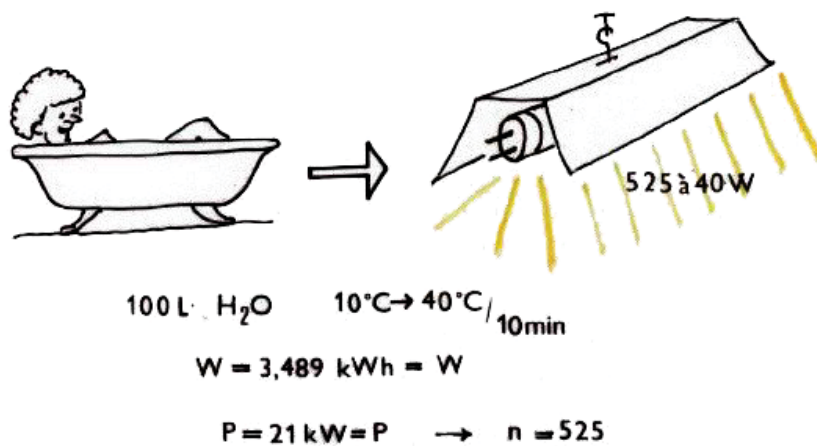
$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

$$Q = 100 \cdot 4180 \cdot 30 = 12,54 \text{ MJ}$$

$$Q = 12,54 \text{ MJ} = 12,54 \text{ MWh} = 3,48 \text{ kWh}$$

$$P = Q / t = 20,9 \text{ kW}$$

$$n = 20900 / 40 = 525$$



- Teplo se přenáší z tělesa teplejšího na těleso studenější třemi způsoby:
 1. **Vedením** (kondukcí) – zpravidla v tělesech tuhých
 2. **Prouděním** (konvekci) – v prostředí kapalném nebo plynném
 3. **Sáláním, zářením** (radiací)
- V praxi se uvedené přenosy tepla zřídka objevují odděleně
- Při konkrétních řešeních můžeme uvažovat s každým způsobem šíření odděleně a celková přenesená energie je pak rovna součtu energií přenášených jednotlivými způsoby

Děkuji za pozornost

- Použitá literatura:
 - Halliday D., Resnick R., Walker J., Fyzika, Brno: VUTIUM 2003
 - Rada J., Elektrotepelná technika , Praha : SNTL 1985
 - Internet