

# ELEKTRICKÁ TOPNÁ TĚLESA

● Často jsme postaveni před problém, jak určité zařízení ohřívat elektrickým proudem. Hotové topné spirály jsou v obchodech v malém výběru, a to ještě jen na napětí 220 V. Vyrobit si topnou spirálu z odporového drátu není nijak složité, horší už je to se stanovením vhodného průměru a délky odporového drátu. Uvádíme proto tabulky a nomogramy, s nimiž je výpočet poměrně

jednoduchý. Ve výpočtech záměrně uvádíme jednotky nevhodnější pro praktické použití, pokud by někdo vyžadoval jednotky SI, snadno si vzorce i grafy upraví.

## VÝPOČET SPIRÁL

Nejprve musíme určit namáhání topné spirály podle toho, k jakému účelu ji budeme používat. Namáhání spirály  $p$  ( $W/cm^3$ ) zjistíme z **tab. 1**, která udává, jaký výkon

může rozptýlit  $1\text{ cm}^2$  povrchu topného drátu. Tepelné namáhání můžeme volit i nižší, než je uvedeno v **tab. 1**. Prodloužíme tím sice životnost topné spirály, zvětší se však její průměr a délka.

Pro další výpočet použijeme nomogram (**obr. 1**), který je vypracován pro dráty z materiálu KANTHAL DSI či DSD a pro napětí 220 V. Výpočet pro jiné napětí nebo materiál uvedeme dále.

## Spirály pro napětí 220 V

Na spodní stupnici nomogramu si najdeme požadovaný příkon spirály ve wattech, odtud vedeme svislou přímkou nahoru až k bodu, kde protne šikmou přímkou pro stanovené tepelné namáhání ve  $W/cm^2$ . Průsečíkem proložíme jednak vodorovnou přímkou, která nám na patřičné stupnici ukáže potřebnou délku drátu v metrech a jednak šikmou přímkou, z níž na šikmé stupnici zjistíme průměr topného drátu v milimetrech.

## Příklady:

Při tepelném namáhání  $1\text{ W/cm}^2$  a příkonu  $800\text{ W}$  určíme z nomogramu  $\varnothing$  drátu  $0,9\text{ mm}$  a délku  $28,5\text{ m}$ .

**Tab. 1.** Namáhání topné spirály

Použití spirály

Pece s teplotou nad  $1000\text{ }^\circ\text{C}$

Pícky, žhací pece s teplotou do  $1000\text{ }^\circ\text{C}$

Různá topidla, teploměry, tepelné zářiče, kamínka, sušárny, vařiče

Ponorné ohřivače na ohřev vody do  $95\text{ }^\circ\text{C}$

Topidla s nuceným chlazením větrákem, fény

Ponorné ohřivače čisté vody (bez pracích prostředků ap.) do  $65\text{ }^\circ\text{C}$

$p$  [ $W/cm^3$ ]

0,5 až 2

2 až 3

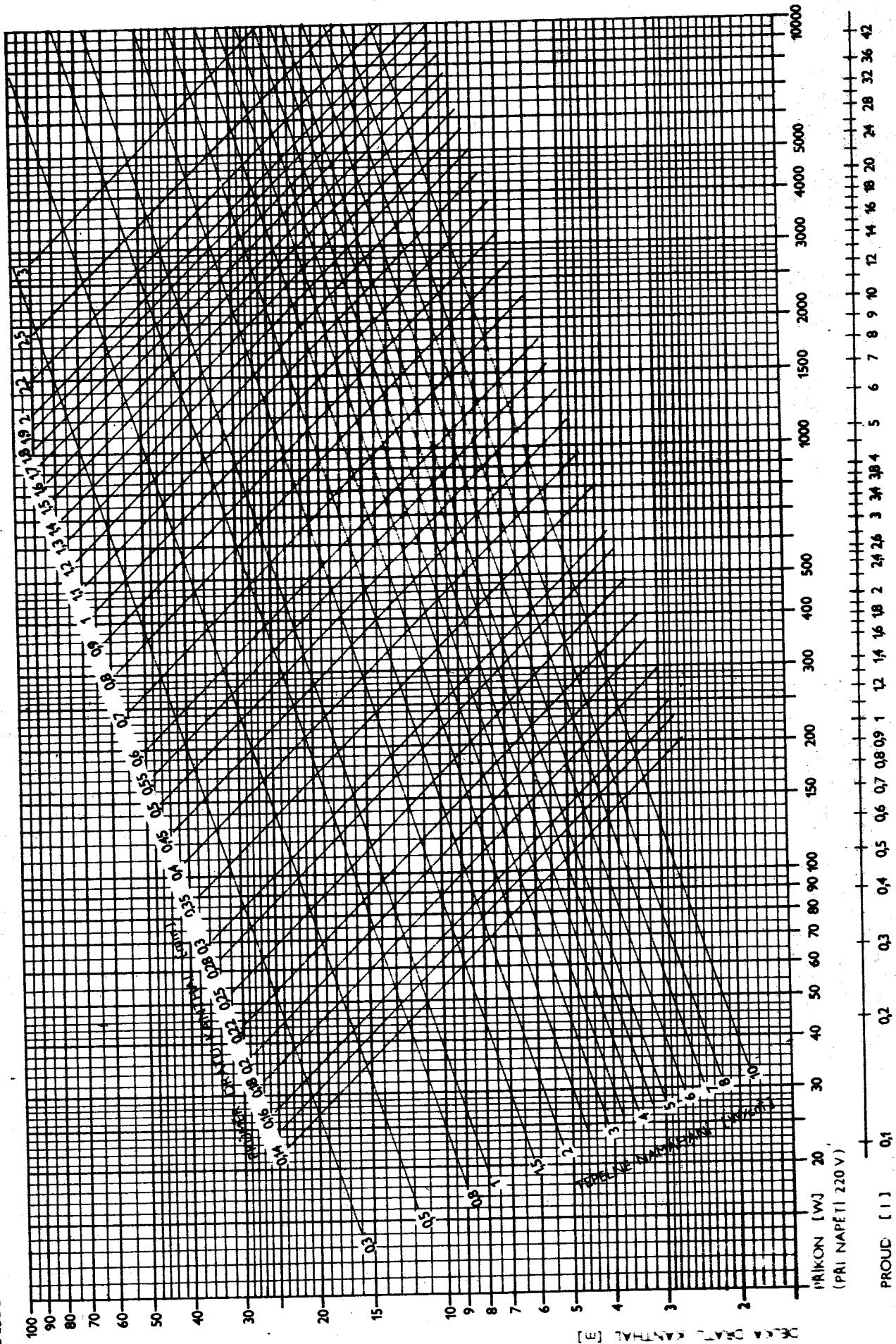
4

5 až 6

6 až 7

10

# Obr. 1



Při tepelném namáhání  $5 \text{ W/cm}^2$  a příkonu  $850 \text{ W}$  vychází  $\varnothing$  drátu  $0,55 \text{ mm}$  a délka  $9,5 \text{ m}$ .

Podobně můžeme pomocí nomogramu zjistit, na jaký příkon můžeme použít určitý odporový drát. Naohře na šikmé stupnici najdeme šikmou přímkou odpovídající průměru daného drátu. Od průsečíku této šikmé přímky s další šikmou přímkou pro tepelné namáhání (stanovené z tab. 1) vedeme nejprve svislici, která nám na dolní stupnici určí příkon a dále vodorovnou čáru, z níž na levé stupnici odečteme potřebnou délku drátu.

#### Příklad:

Zjistíme, že průměr drátu je  $0,5 \text{ mm}$  a požadované tepelné namáhání  $8 \text{ W/cm}^2$ . Z nomogramu pak vychází příkon  $970 \text{ W}$  a délka  $7,2 \text{ m}$ .

Pokud by nám to lépe vyhovovalo, můžeme místo stupnice příkonu ve watttech použít stupnice proudu v ampérech, která je v nomogramu uvedena těsně pod ní. Výsledek bude pochopitelně stejný.

#### Spirály pro jiná napětí

Měrné tepelné namáhání volíme stejně, jako v předchozím případě podle tab. 1. Z požadovaného příkonu a napětí určíme proud

$$I = \frac{P}{U}$$

kde  $I$  je proud [A],  $P$  příkon [W] a  $U$  napětí [V]. Z nomogramu (obr. 1) určíme potřebný průměr drátu  $d$  a jeho délku  $l$ , přičemž použijeme stupnici proudu. Z nalezené délky  $l$  musíme zjistit potřebnou délku  $l'$  podle vzorce

$$l' = l \cdot \frac{U}{220}$$

kde  $l'$  je potřebná délka drátu [m],  $l$  délka drátu určená z nomogramu [m] a  $U$  napětí spirály.

#### Příklad:

Potřebujeme spirálu pro napětí  $24 \text{ V}$  s příkonem  $300 \text{ W}$  a s tepelným namáháním  $5 \text{ W/cm}^2$ . Spočítáme

$$I = \frac{P}{U} = \frac{300}{24} = 12,5 \text{ [A]}$$

Z nomogramu na obr. 1 určíme průměr odporového drátu  $1,2 \text{ mm}$  a délku  $l = 14,5 \text{ m}$ . Skutečná délka

$$l' = l \cdot \frac{U}{220} = 14,5 \cdot \frac{24}{220} = 1,74 \text{ [m]}$$

Topný drát tedy bude mít průměr  $1,2 \text{ mm}$  a délku  $1,74 \text{ m}$ .

#### Spirály z jiného materiálu

Nejběžnější odporové materiály, jejich nejdůležitější vlastnosti a opravný činitel  $k$  jsou uvedeny v tab. 2. V ní vidíme, že pro všechny běžné materiály je opravný koeficient  $k$  menší než  $10\%$ . Pokud tedy volíme tepelné namáhání s určitou rezervou a nebude nám vadit malá tolerance v příkonu (což je obvykle spiněno), nemusíme brát ohled na použitý materiál.

Pokud je nutná větší přesnost, lze vypočítat délku drátu podle vzorce

$$l' = l \cdot \frac{100 + k}{100}$$

kde  $l'$  je potřebná délka topného drátu [m]

$l$  — délka drátu určená z nomogramu, případně přepočítaná pro jiné napětí [m]

$k$  — opravný koeficient z tab. 2 [%].

#### Příklad:

Potřebujeme topnou spirálu na  $1000 \text{ W}$  pro napětí  $220 \text{ V}$ , s tepelným namáháním  $5 \text{ W/cm}^2$ . Z nomogramu určíme průměr odporového drátu Kanthal DSI  $0,6 \text{ mm}$  a délku  $10 \text{ m}$ . Pro jiné materiály vycházejí tyto délky:

Tab. 2. Vlastnosti odporových drátů

Druh odporového drátu	Barevné značení	Měrný odpor při $20^\circ\text{C}$ [ $\Omega/\text{m}/\text{mm}^2$ ]	Opravný koeficient K	Použitelný do teploty [ $^\circ\text{C}$ ]
Kanthal DSI, DSD	modrá	1,35 $\Omega$	0	1130 až 1280
Kanthal A	červená	1,39 $\Omega$	-3 %	1330
Kanthal A1	zelená	1,45 $\Omega$	-7 %	1375
Nichrom (SNS)		1,5 $\Omega$	-10 %	1150
Fechral (SNS) <sup>*</sup>		1,26 $\Omega$	+7 %	1100

\*po ohřátí křehne, lze použít když je topná spirála fixována nebo málo tepelně namáhána

Tab. 3. Odpor 1 m drátu při teplotě  $20^\circ\text{C}$

Průměr drátu [mm]	Kanthal DSI, DSD [ $\Omega/1 \text{ m}$ ]	Kanthal A [ $\Omega/1 \text{ m}$ ]	Kanthal A1 [ $\Omega/1 \text{ m}$ ]	Nichrom [ $\Omega/1 \text{ m}$ ]	Fechral [ $\Omega/1 \text{ m}$ ]
0,14	87,7	90,3		96,5	81,6
0,15	78,4	78,66		84,0	71,05
0,16	67,14	68,13		73,9	62,4
0,17	59,48	61,24		65,4	55,3
0,18	53,05	54,62		58,35	49,3
0,2	42,97	44,25		42,27	39,9
0,25	27,5	28,32		30,25	25,56
0,3	19,1	19,66		21,01	17,75
0,35	13,64	14,45		15,0	12,68
0,4	10,74	11,06		11,81	9,98
0,45	8,488	8,74		9,94	7,89
0,5	6,876	7,079		7,56	6,39
0,56	5,481	5,841		6,03	5,09
0,6	4,775	4,916		5,25	4,44
0,65	4,068	4,189		4,47	3,78
0,7	3,508	3,612		3,859	3,26
0,8	2,686	2,765		2,955	2,497
0,9	2,121	2,185		2,333	1,971
1,0	1,719	1,77	1,846	1,891	1,598
1,1	1,421	1,463	1,526	1,563	1,321
1,2	1,193	1,229	1,282	1,733	1,465
1,3	1,017	1,047	1,092	1,118	0,945
1,4	0,877	0,903	0,9419	0,965	0,815
1,5	0,764	0,7866	0,8205	0,821	0,693
1,6	0,6714	0,6913	0,7212	0,739	0,624
1,7	0,5948	0,6124	0,6388	0,654	0,553
1,8	0,5305	0,5462	0,5698	0,584	0,493
1,9	0,4762	0,4902	0,5114	0,524	0,443
2,0	0,4297	0,4425	0,4616	0,473	0,383
2,1	0,3898	0,4013	0,4186	0,4288	0,3623
2,2	0,3551	0,3657	0,3814	0,3906	0,3301
2,3	0,3249	0,3346	0,3490	0,3574	0,3020
2,4	0,2984	0,3073	0,3205		
2,5	0,2750	0,2832	0,2954	0,3025	0,2556
2,6	0,2543	0,2618	0,2731	0,2797	0,2363
2,8	0,2192	0,2257	0,2355	0,2411	0,2037
3,0	0,1910	0,1966	0,2051	0,2101	0,1778

KANTHAL A ( $k = -3\%$ )

$$l' = 10 \frac{100 - 3}{100} = 9,7 \text{ m}$$

KANTHAL A1 ( $k = -7\%$ )

$$l' = 10 \frac{100 - 7}{100} = 9,3 \text{ m}$$

FECHRAL ( $k = +7\%$ )

$$l' = 10 \frac{100 + 7}{100} = 10,7 \text{ m}$$

Zhotovujeme-li topnou spirálu z jiného materiálu, než je uvedeno v tab. 2 (popřípadě z materiálu neznámého), musíme nejprve určit opravný koeficient  $k$ . Známe-li měrný odpor  $\rho$ , který se udává v  $\Omega/\text{m}/\text{mm}^2$ , spočítáme  $k$  podle vzorce:

$$k = \frac{1,35 - \rho}{\rho} = 100\%$$

Neznáme-li měrný odpor  $\rho$ , je nutné odměřit určitou délku drátu  $l$  [m], změřit průměr drátu  $d$  [mm] a změřit jeho odpor  $R$ . Z těchto údajů spočítáme opravný koeficient  $k$  podle vzorce:

$$k = \left( 1,7 \cdot \frac{l}{R \cdot d^2} - 1 \right) \cdot 100\%$$

Pro úplnost přinášíme ještě v tab. 3 odpor 1 m drátu při různých průměrech. Tabulka platí pro teplotu  $20^\circ\text{C}$ , při vyšších teplotách odpor kovových materiálů stoupá.

Nakonec uvádíme pro srovnání ještě vzorec pro výpočet průměru  $d$  odporového drátu bez použití nomogramu. Výpočet byl převzat z firemní literatury KANTHAL.

$$d = 0,344 \sqrt[3]{I^2 \cdot \frac{\rho}{P}}$$

kde  $d$  je průměr drátu [mm]

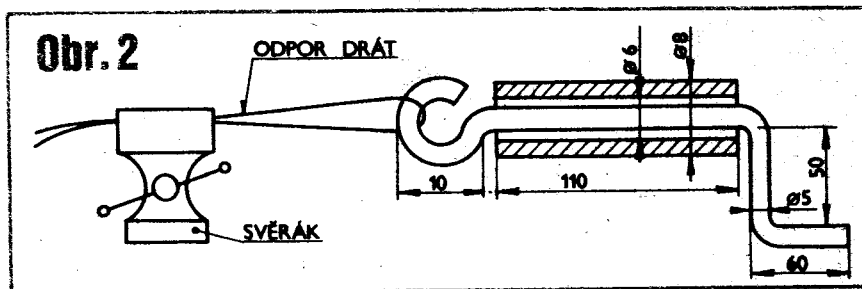
$I$  – proud [A]

$\rho$  – měrný odpor [ $\Omega/\text{m}/\text{mm}^2$ ]

$P$  – příkon [W]

## ZHOTOVENÍ TOPNÉHO TĚLESA

Z drátu, jehož průměr a délku jsme zjistili z nomogramu či výpočtem musíme stočit spirálu. Aby se životnost spirály zvýšila, musíme konce spirály zdvojit, jinak se „upalují“. Přidáme proto k výpočtové délce 1 m na vývody a drát



ustříháme. Na obou koncích drát v délce 25 cm zahneme. Zahnutý konec přes kousek hliníkového plechu (nebo dvě tuhá prkénka) upneme do svěráku a pak pomocí tužky oba dráty (zdvojený konec) pevně stočíme. Stejným způsobem upravíme i druhý konec.

Pohodlněji se nám konce spirál stáčeji pomocí jednoduchého přípravku (obr. 2). Odřízneme asi 10 cm trubky, jejíž vnitřní průměr je 6 mm. Z ocelového drátu  $\phi 5$  mm ohneme neuzavřené oko  $\phi$  asi 10 mm, drát provlékneme trubkou a pak ohneme do tvaru klíky. Zdvojený konec upneme do svěráku, ohyb drátu navlékneme na oko, pak uchopíme levou rukou trubku a pravou otáčíme klíčkovou až je konec topné spirály stočen.

Další operací je stočení topného drátu do spirály, jejíž vnější průměr má být pěti až osminásobek průměru drátu. Je-li totiž vnější průměr spirály menší, snižuje se její životnost, protože odporový drát popraská, naopak, je-li průměr příliš velký, zmenšuje se nosnost topné spirály.

Při vinutí spirály, postupujeme tak, že do svěráku upneme ruční vrtačku klikou nahoru, abychom s ní mohli točit. Ruční vrtačku proto, že má převod 1:5, což je pro navíjení nejvhodnější rychlost. Drát vhodného průměru, na který budeme spirálu navíjet, upneme do sklíčidla zároveň se zdvojeným začátkem spirály a pak otáčíme klikou a vineme odporový drát závit vedle závitů až do zdvojeného konce.

Spirálu vyjmeme ze sklíčidla a po té její závitů roztáhneme tak, aby spirála byla dva až třikrát delší, než po navíjení. Rozteč závitů musí být všude stejná, má se rovnat minimálně 2,5 až 3 násobku průměru použitého drátu. Není-li rozteč u všech závitů stejná, topná spirála se přepálí v místech, kde jsou závitů blízko sebe. Stáčí-li se hotová spirála do oblouku, je nutné, aby na vnitřní straně, kde jsou

závitů u sebe nejbližší, byla zachována správná rozteč ( $3 \times \phi$  drátu). Spirálu nejlépe roztáhneme takto: Zdvojený konec upneme do svěráku a za druhý konec táhneme spirálu tak dlouho, až mají závitů předepsanou rozteč.

Topné spirály vkládáme většinou do různých tvarovek z keramiky. Odporový drát lze vinout také na sídlo, popřípadě na skleněné trubky z křemičitého skla, nebo Sial, Simax. Sklo lze použít jen tehdy, nepřesáhne-li teplota spirály  $600^\circ\text{C}$ . Směs pro ukládání topné spirály si můžeme zhotovit sami. Skládá se ze dvou dílů šamotu a jednoho dílu klouzku. Tato směs má dobré izolační schopnosti do teploty  $650^\circ\text{C}$ . Směs rozmícháme s vodou na hustou kaši a dáme do formy. Do koše vložíme topnou spirálu tak, aby se vzájemně nedotýkala. Navrch dáme asi 5 mm vrstvu kaše, důkladně udusáme a necháme uschnout při pokojové teplotě. Během schnutí můžeme ještě směs zadusávat. Touto směsí lze též mazávat topnou spirálu v keramických vložkách. Nedoporučuji přidávat místo vody vodní sklo, protože zmenšuje dobré izolační schopnosti této směsi a snižuje životnost topného článku.

Další izolační hmotou je křemičitý písek  $\text{SiO}_2$ , který dlouhodobě snese teploty do  $450^\circ\text{C}$ , krátkodobě až do  $800^\circ\text{C}$ . Vhodný je také elektrokorund, což je čistý kyslíčnick hlinitý  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (asi 98,5 % nemagnetický, tj. zbavený železa), jehož izolační vlastnosti umožňují použití do teploty  $800^\circ\text{C}$ . Periklas je tavený kyslíčnick hořečnatý  $\text{MgO}$ , rozdrčený na drobné kousky, aby měl dobrou tepelnou vodivost. Snese teploty až  $1000^\circ\text{C}$ . Naopak, takzvaná pálená magnésie je také kyslíčnick hořečnatý, má však špatnou tepelnou vodivost a používá se proto jako výsypka peci.

Dobrá směs vzniká smícháním křemičitého písku a taveného kyslíčnicku hořečnatého  $\text{MgO}$  v poměru 1:1.

JIŘÍ HABAL