ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ

KATEDRA TECHNOLOGIÍ A MĚŘENÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Silikony v elektrotechnice

vedoucí práce: **Doc. Ing. Eva Kučerová, CSc.**

autor: **Bc. Radek Štegbauer**

2012

Anotace

Tato diplomová práce se zabývá studiem silikonů - jejich výrobou, strukturou, vlastnostmi a jejich formou. Zvláště popisuje vlastnosti a formy silikonů, které jsou využitelné především v elektrotechnice. Uvádí konkrétní hodnoty a vlastnosti daných forem a také konkrétní příklady jejich využitelnosti.

V poslední kapitole je pomocí informací získaných z předešlých kapitol, popsána praktická využitelnost. V podstatě se jedná o různá hlediska, která hodnotí výhody a nevýhody v používání a také o porovnání s jinými druhy. Dále je popsána perspektiva silikonů obsahující konkrétní návrh na využití v budoucnosti.

Klíčová slova

Křemík, silikon, siloxan, kaučuk, pryskyřice, olej.

Abstract

This thesis studies the silicone - their production, structure, properties, and their form. The particular features and forms of silicones, which are useful mainly in electrical engineering. The lists the specific values and characteristics of the particular forms and examples of their usefulness.

In the last chapter is by using information gained from previous chapters, is described the practical usability. Basically it is a different perspective, which assesses the advantages and disadvantages in the use and also for comparison with other species. In addition prospect are described the silicon containing concrete proposals to use in the future.

Key words

Silicon, silicone, siloxane, rubber, resin, oil.

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

V Plzni dne 9.5.2012 Radek Štegbauer

……..

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucí diplomové práce Doc. Ing. Evě Kučerové, CSc. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

Obsah

OBSAH **6**

ÚVOD **8**

1 VÝROBA A PODSTATA SILIKONŮ **9**

1.1 KŘEMÍK 9

1.1.1 Obecně *9*

1.1.2 Výskyt v přírodě *9*

1.1.3 Vlastnosti *10*

1.1.4 Bezkyslíkaté sloučeniny křemíku *10*

1.1.5 Kyslíkaté sloučeniny *11*

1.2 VÝROBA SILIKONŮ 12

1.2.1 Grignardova syntéza *12*

1.2.2 Přímá syntéza *12*

1.2.3 Následné zpracování *13*

1.2.4 Konkrétní příklad výroby *15*

1.3 OBECNÉ VLASTNOSTI SILIKONŮ A JEJICH STRUKTURA 16

2 FORMY SILIKONŮ A JEJICH VLASTNOSTI **18**

2.1 SILIKONOVÉ OLEJE 18

2.1.1 Silikonové emulze *19*

2.2 SILIKONOVÉ KAUČUKY A PRYŽE 20

2.2.1 Silikonové tmely a lepidla *22*

2.3 SILIKONOVÉ PRYSKYŘICE 23

2.3.1 Silikonové laky *24*

2.4 SILIKONOVÉ ELEKTRICKY VODIVÉ KAUČUKY 25

3 UPLATNĚNÍ SILIKONŮ V ELEKTROTECHNICE **26**

3.1 SILIKONOVÉ KAUČUKY A PRYŽE 26

3.2 LEPIDLA A TMELY 29

3.3 PĚNY 31

3.4 OLEJE 32

3.5 LAKY 33

3.6 SILIKONOVÝ ELEKTRICKY VODIVÝ KAUČUK 35

4 ROZVAHA O VYUŽITELNOSTI A PERSPEKTIVĚ SILIKONŮ V ELEKTROTECHNICE 36

4.1 EKONOMICKÉ HLEDISKO 36

4.2 EKOLOGICKÉ HLEDISKO 37

4.3 ENERGETICKÉ HLEDISKO 37

4.4 PERSPEKTIVA SILIKONŮ 38

4.4.1 Kompozitní materiály 38

ZÁVĚR 41

POUŽITÁ LITERATURA 42

Úvod

Silikony jsou organokřemičité sloučeniny, u kterých je vytvářena velmi pevná vazba křemíku s kyslíkem. Veškeré silikony mají velice podobné základní vlastnosti, avšak dále se liší podle forem, ve kterých jsou vyráběny, podle způsobu zpracování a z těchto principů vychází jejich následné využití. Některými vlastnostmi jsou porovnatelné s ekvivalentními druhy forem, ale zvláště vynikají v tepelné odolnosti a dielektrické pevnosti. Právě pro tyto vlastnosti jsou silikony přímo vhodné pro použití v elektrotechnice.

1 Výroba a podstata silikonů

Pojmem silikony nebo silikonové sloučeniny jsou nazývány takové polymery, které jsou ze základu tvořeny křemíkem a kyslíkem (Si - O - Si), nebo-li organokřemičité sloučeniny, též nazývány jako polysiloxany.

1.1 Křemík

1.1.1 Obecně

Křemík je 14. prvek Mendělejevovy tabulky prvků. Označení Si plyne z latinského názvu Silicium, od tohoto jsou také odvozeny pojmy jako silan, silanol, siloxan atd. Anglický název je Silicon.

Převážně se využívá jako primární materiál na výrobu polovodičů (diod, tranzistorů, atd.), solárních článků, dále také skla a keramiky. Poprvé byl volný křemík separován roku 1823 švédským chemikem J. J. Berzeliem. [2]

1.1.2 Výskyt v přírodě

Volný křemík se v zemské kůře nevyskytuje, oproti tomu se vyskytuje převážně jako kyslíkatá sloučenina v křemičitanech, hlinitokřemičitanech, nebo v živých organismech jako biogenní prvek. Je druhým nejrozšířenějším prvkem v zemské kůře (první je kyslík). Zemská kůra je přibližně tvořena 49 procenty kyslíku a 27 procenty křemíku.

Nejvýznamnějším minerálem obsahujícím křemík je křemen (chemický vzorec SiO_2). V podstatě se jedná o krystalický oxid křemičitý. Jeho vznik je popsán a definován Bowenovo krystalizačním schématem, někdy též Bowenovo reakční schéma. Křemen se dále dělí podle minoritní chemické příměsi, jenž se projevuje zbarvením. Například křišťál je nejvíce chemicky čistým a zároveň také čirým křemenem. Udává se, že jde o biogenní prvek, avšak jeho výskyt v živých organismech je spíše malý. V těle dospělého člověka, převážně v kostech, můžeme nalézt okolo jednoho gramu křemíku. [4] [6]

1.1.3 Vlastnosti

Křemík je modrošedý až hnědočerný, lesklý metalloid. Je velmi tvrdý, ale zároveň křehký. Má kubickou krystalickou strukturu diamantového typu a význačnou kovalentní vazbu. Jeho atomové číslo je 14 a relativní atomová hmotnost 28,0855 [-]. Hranice teploty tání je 1 414 °C resp. 1 687 K a teplota varu je 2 900 °C resp. 3 173 K. [5]

Disponuje velmi vysokou schopností slučovat se s kyslíkem. Při běžných teplotách je jen velmi málo reaktivní, jelikož na jeho povrchu vzniká tenká vrstva oxidu křemičitého (SiO_2) velmi pomalu a ta prakticky zabraňuje jakékoli další oxidaci. Při vyšších teplotách naopak na vzduchu hoří.

Vazba s kyslíkem (Si - O) je velmi silná a stabilní, tudíž jsou tyto sloučeniny hodně rozšířené. Vazby s ostatními prvky jsou nestabilní, a z tohoto důvodu se rychle rozkládají. Není schopen vytvářet dvojné a trojné vazby. Běžným kyselinám odolává tzn. nerozpouští se, až na kyselinu fluorovodíkovou. Oproti tomu se v alkalických roztocích rozpouští (a to i v nízkých koncentracích), za vzniku křemičitanů. [8]

1.1.4 Bezkyslíkaté sloučeniny křemíku

a) *Silany* - jsou sloučeniny s vodíkem. Jejich obecný vzorec je Si_nH_{2n+2}. Přičemž n nabývá hodnot 1 až 8. SiH_4 (monosilan) a Si_2H_6 (disilan) jsou nestálé bezbarvé plyny. Na vzduchu jsou samozápalné. Při vyšších hodnotách n (n > 2) se jedná o velice těkavé kapaliny. Jsou vyráběny synteticky. S přibývající délkou řetězce se stávají ještě více nestabilními.
[7] [8]

b) *Křemičité halogenidy* - jsou sloučeniny s halogeny (což jsou prvky VII. skupiny) a obecným vzorcem Si_nX_{2n+2}. Nejčastější je fluorid křemičitý (SiF_4), dále pak $SiCl_4$, $SiBr_4$. Tyto všechny jsou velmi nestálé a při styku s vodou hydrolyzují. V případě SiF_4 při styku s vodou vznikne velmi silná kyselina hexafluorokřemičitá ($SiF_4 + H_2O \longrightarrow H_2SiF_6$), která existuje jen jako vodný roztok. [7] [8]

c) *Silicidy* - jsou sloučeniny s elektropozitivnějšími prvky (alkalické kovy např. Li_4Si, kovy alkalických zemin např. Mg_2Si a kovy např. Fe_3Si). Disponují různými vazbami např. iontovou nebo kovalentní. [7] [8]

d) *Karbidy křemičité* - jsou sloučeniny s uhlíkem (SiC), neboli karborunda. Je to velice tvrdá látka, na Mohsově stupnici tvrdosti je výš než korund. Na výrobu je zapotřebí křemičitý písek a petrolejový koks. Vyrábí se v různých kvalitách. Převážně se dělají dva druhy (zelený 49% C a šedý 48% C). Používá se na broušení velmi tvrdých materiálů. [1] [7] [8]

1.1.5 Kyslíkaté sloučeniny

a) *Oxid křemičitý* - je sloučenina, jak již z názvu vyplývá, s kyslíkem (SiO_2). Jedná se o krystalickou bezbarvou látku, která je téměř inertní ke všem kyselinám. Jedinou výjimku tvoří kyselina flourovodíková. [7] [8]

b) *Kyseliny křemičité* - existují jen ve formě vodných roztoků např. H_2SiO_3 nebo H_4SiO_4. Jsou vyráběny třemi způsoby. Buďto rozpouštěním SiO_2 ve vodě, hydrolýzou chloridu křemičitého, nebo přidáním kyseliny do roztoku alkalických křemičitanů. Vodný roztok křemičitanu sodného se také nazývá jako vodní sklo. [7] [8]

c) S*iloxany* - jsou v podstatě jakékoliv sloučeniny, které obsahují řetězec R_nSiOSi. Kde R je alkyl, aryl, nebo vodík. O těchto kyslíkatých sloučeninách křemíku budou následující kapitoly. [7] [8]

1.2 Výroba silikonů

Křemíkaté sloučeniny se technologicky postupně vyvíjely, ale až počátkem 19. století J.J. Berzelius objevil tetrachlorsilan, neboli chlorid křemičitý (chemický vzorec $SiCl_4$), který je považován za první organokřemičitou sloučeninu. V roce 1823 tentýž chemik poprvé izoloval volný křemík a v roce 1848 vyrobil tetraetoxysilan. Tímto byly položeny základy organokřemičitých sloučenin a tím zároveň i siloxanům.

Nejčastější metody pro výrobu organokřemičitých sloučenin, které se využívají k výrobě polymerů, jsou Grignardova syntéza, nebo Přímá syntéza. [4] [10]

1.2.1 Grignardova syntéza

Grignardova syntéza je založena na reakci Grignardova činidla s tetrachlorsilanem, z čehož vzniknou sloučeniny alkylsilanu a chloridu hořečnatého.

tetrachlorsilan + Grignardovo činidlo

$$SiCl_4 + CH_3MgCl \longrightarrow CH_3SiCH_3 + MgCl_2 \quad (1)$$

alkylsilan + chlorid hořečnatý

Tato reakce se uskutečňuje v několika zároveň probíhajících stupních. Složení alkylsilanu je závislé na zreagovaném množství Grignardova činidla. Při procesu také vzniká chlorid křemičitý, který se separuje od alkylsilanů destilací.

To je právě jedna z největších nevýhod při používání této metody. Dále je také velká nevýhoda v používáním roztoku velmi hořlavého éteru (bod varu kolem 35 °C), v němž se nachází Grignardovo činidlo. Navzdory těmto nevýhodám se stále používá na výrobu monomerů. [3] [10]

1.2.2 Přímá syntéza

Přímá syntéza je novější metoda než Grignardova. Používá reakce čistého rozdrceného křemíku s organickými halogenidy při teplotách v rozmezí 250 až 450 °C. Touto reakcí a působením mědi jako katalyzátor, vzniká směs alkylsilanu nebo arylsilanu.

Pro přípravu různých alkylsilanů se používá rozdílných látek působících na křemík.

Například pro výrobu metyltrichlorsilanu je zapotřebí, aby s křemíkem reagoval chlormethan v plynném stavu. Výsledné produkty se s vysokou účinností separují mnohonásobnou chemickou destilací, neboli rektifikací.

křemík + organický halogenid

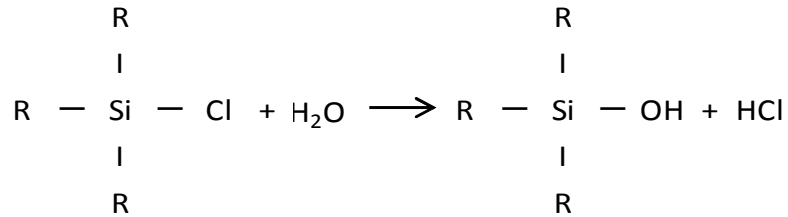
$$Si + 2CH_3Cl \xrightarrow[Cu]{} (CH_3)_2SiCl_2 \qquad (2)$$

alkylsilan

Tato metoda je jak z ekonomického, tak bezpečnostního i technologického hlediska výhodnější, než předchozí. Hlavní využití této metody je pro produkci monomerů, které jsou nedílnou součástí pro výrobu organokřemičitých polymerů a tudíž i siloxanů.
[9] [10]

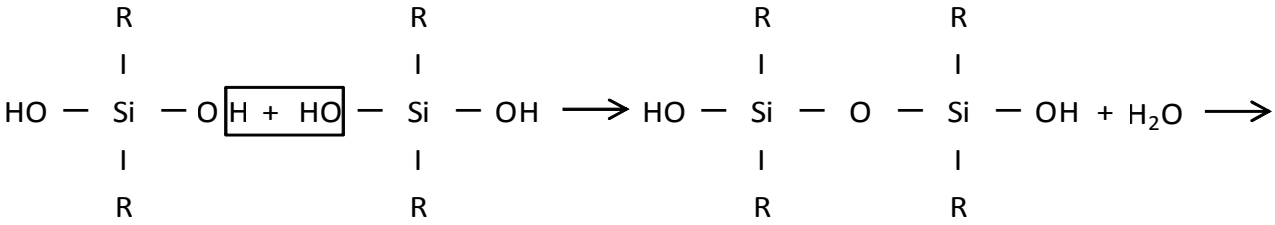
1.2.3 Následné zpracování

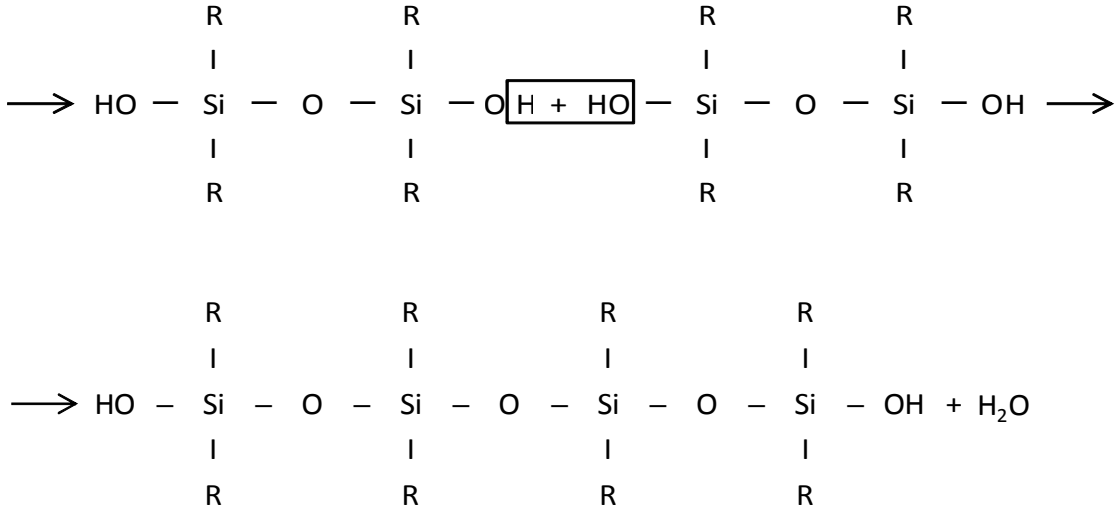
Takto získané monomery se dále upravují hydrolýzou. Při této reakci vzniká potřebný alkylsilanol a také kyselina chlorovodíková.



Obr. 1 Vznik trialkylsilanolu

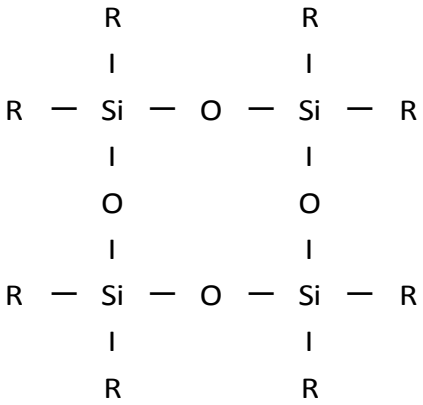
Vytvořený silanol obsahující hydroxylovou skupinu je velmi reaktivní a má tendenci k polykondenzaci. Díky tomuto jevu vzniká molekula vody ze dvou OH skupin a zbylý kyslík tvoří s křemíkem siloxanovou vazbu. Délka řetězce v podstatě roste kvadraticky.





Obr. 2 *Vznik siloxanu*

Cyklické siloxany mohou vzniknout zkapalňováním koncových hydroxylových skupin.

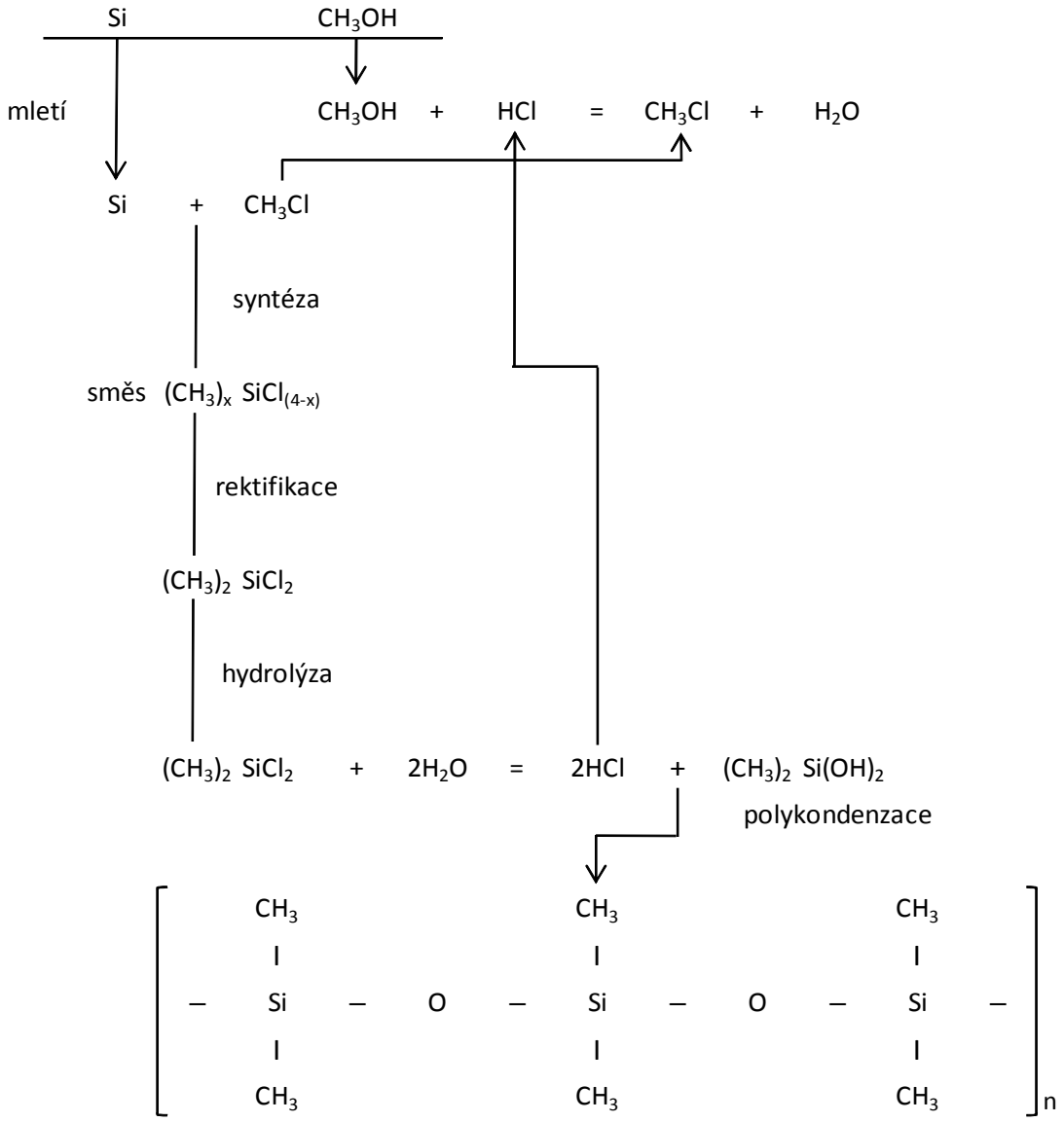


Obr. 3 *Cyklický siloxan*

Tímto způsobem v podstatě vznikají všechny polysiloxany neboli silikony.
[9] [10]

1.2.4 Konkrétní příklad výroby

Konkrétní příklad výroby je uveden na přípravě polydimethylsiloxanu (PDMS), který se v dnešní době hojně využívá pro výrobu mikrofluidních čipů. Postup jde také přehledně popsat i schématem:



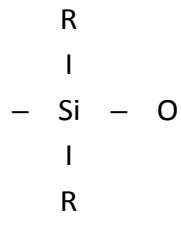
Obr. 4 *Schéma výroby*

Pro tento postup se primárně vychází z technického křemíku a methanolu. Methanol s kyselinou chlorovodíkovou (která se produkuje v pozdější fázi procesu), vytváří chlormethan. Při syntéze chlormethanu s křemíkem vzniká methylchlorsilanová směs, která se dále rektifikací dělí na jednotlivé komponenty (dimethyldichlorsilan). Ty se poté hydrolyzují a vzniká kyselina chlorovodíková, která se dodává do začátku procesu a silanol, který dále

kondenzuje a tím vzniká žádaný polydimethylsiloxan. [12]

1.3 **Obecné vlastnosti silikonů a jejich struktura**

Struktura silikonu



kde R je organický substituent (např. CH_3)

Obr. 5 *Struktura silikonu*

Silikony mají díky své zčásti anorganické struktuře výjimečné vlastnosti. Disponují i z různých hledisek velmi příznivými vlastnostmi. Nejdůležitější kladnou vlastností je zcela bezpochyby tepelná stabilita. Je dána vazbami Si – O o vysoké vazebné energii (452 kJ/mol) a také Si – CH_3. Silikony odolávají teplotním hodnotám v rozmezí od – 60 °C do + 200 °C bez větších problémů. Při krátkodobých dějích odolají až 350 °C. Také z důsledku svých vazeb mají vysokou adhezivní schopnost.

Dále jsou vysoce hydrofobní, přičemž velice dobře propouští vodní páry. Chemicky jsou zařazovány mezi vysoce čisté resp. obsahují velmi malou míru nečistot.

Jsou nepolární z čehož vyplývá stabilní a nízký disipační faktor a taktéž hodnota permitivity v rozsáhlém spektru teplot. Nepolárnost je způsobena organickým činitelem navázaným na anorganickou makromolekulu. Jsou tedy nevodivé a mají výborné elektroizolační vlastnosti. Používají se v izolátorech nebo jako izolace např. pro transformátory, elektrické vedení atd.

Jako další velká výhoda pro jiné obory je ta, že jsou fyziologicky inertní. Nemají žádný zápach, ani chuť, nejsou vhodným prostředím pro bakterie, nezpůsobují korozi jiným materiálům a také odolávají, oproti jiným plastům, ozónu. Také jsou vyznačovány nízkými hmotnostními ztrátami ve vakuu. Patří k nejméně toxickým polymerům, a tedy z hlediska životního prostředí jsou bezpečné pro používání. Totéž platí pro výrobu, avšak tam se pracuje s kyselinami, takže se musí dbát speciálních bezpečnostních předpisů.

Z těchto důvodů resp. pro jejich vlastnosti se jedná o perspektivní sloučeniny, které se již dnes využívají v širokém spektru oborů.

Kromě svých kladných vlastností mají také jeden zápor. Tím je myšlena vysoká pořizovací cena, která je důsledkem nákladné a náročné výroby . [12] [14] [15]

2 Formy silikonů a jejich vlastnosti

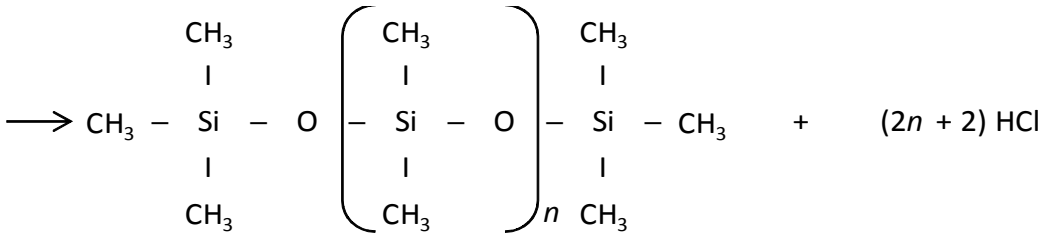
Silikony se rozdělují podle poměru organického radikálu ke křemíku na:

- silikonové oleje
- silikonové kaučuky
- silikonové pryskyřice
- silikonové tmely
- silikonové pěny
- silikonové laky

2.1 Silikonové oleje

Jedná se převážně o methylsilikony (resp. polydimethylsiloxany). Připravují se hydrolýzou dimethyldichlorsilanu se silně okyselenou vodou za působení trimethylchlorsilanu jako terminační složky:

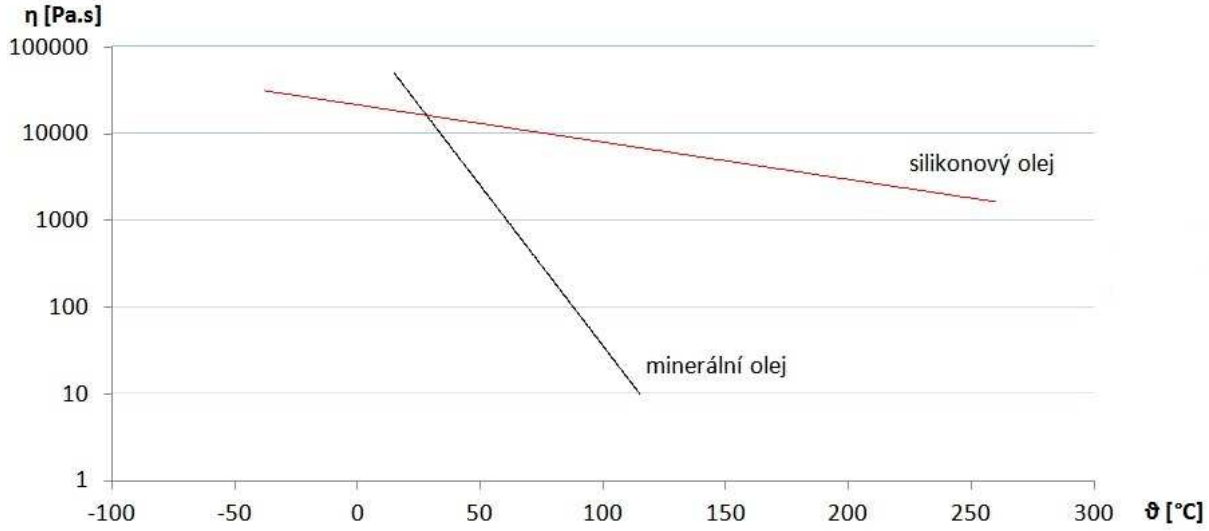
$$n(CH_3)_2SiCl_2 + 2(CH_3)_3SiCl + (n+1)H_2O \longrightarrow$$



Obr. 6 *Příprava silikonového oleje*

Terminační složka, lépe řečeno její množství, určuje viskozitu a molekulovou hmotnost. Svými vlastnostmi jsou velice podobné minerálním olejům. Jsou fyziologicky nezávadné, nerozpustné ve vodě a bezbarvé. Disponují také velmi dobrou chemickou odolností proti působení roztoků solí, oxidačním činidlům a minerálních kyselin. Avšak oproti minerálním olejům mají velmi plochou křivku viskozity v závislosti na teplotě (Obr. 7). Také mají lepší tj. vyšší tepelnou stálost a zároveň tuhnou při nižších teplotách než minerální oleje. Methylsilikonové oleje odolávají teplotám až do 180 °C, po překročení této hodnoty se navyšuje jejich viskozita z důvodu oxidace, ke které dochází. Z toho vyplývá že ve vakuu

nebo v inertní atmosféře se tato hodnota navyšuje a to až na 300 °C. Předchozí výše teplot jsou stanoveny pro dlouhodobé tepelné namáhání. Pro krátkodobé jsou ještě vyšší a to na vzduchu až 250 °C. Tuhnout začínají při - 40 °C, ale některé speciální oleje tuhnou při - 100 °C.



Obr. 7 Změna viskozity v závislosti na teplotě [12]

Použití silikonových olejů je poměrně široké. Využívají se jako kvalitní maziva pro různé obory (ve strojírenství, v letectví k mazání systémů a přístrojů, které jsou vysoce tepelně namáhány, v záznamových i projekčních filmových zařízeních atd.). Dále také jako hydraulické kapaliny a kapaliny pro difuzní pumpy. Jejich vodoodpudivost je využívána pro hydrofobizaci jiných látek, ať už např. keramika, sklo, kůže, různé tkaniny, nebo také jako hydrofobní přísady do leštidel na automobily, nebo nábytek atd.

V elektrotechnice jsou používané jako transformátorové kapaliny nebo silikonová olejová dielektrika, která zvyšují a tudíž vylepšují elektroizolační vlastnosti. Dále také na keramických i skleněných izolátorech, kde slouží k hydrofobizaci těchto zařízení a opět vylepšují jejich vlastnosti. [9][10][12]

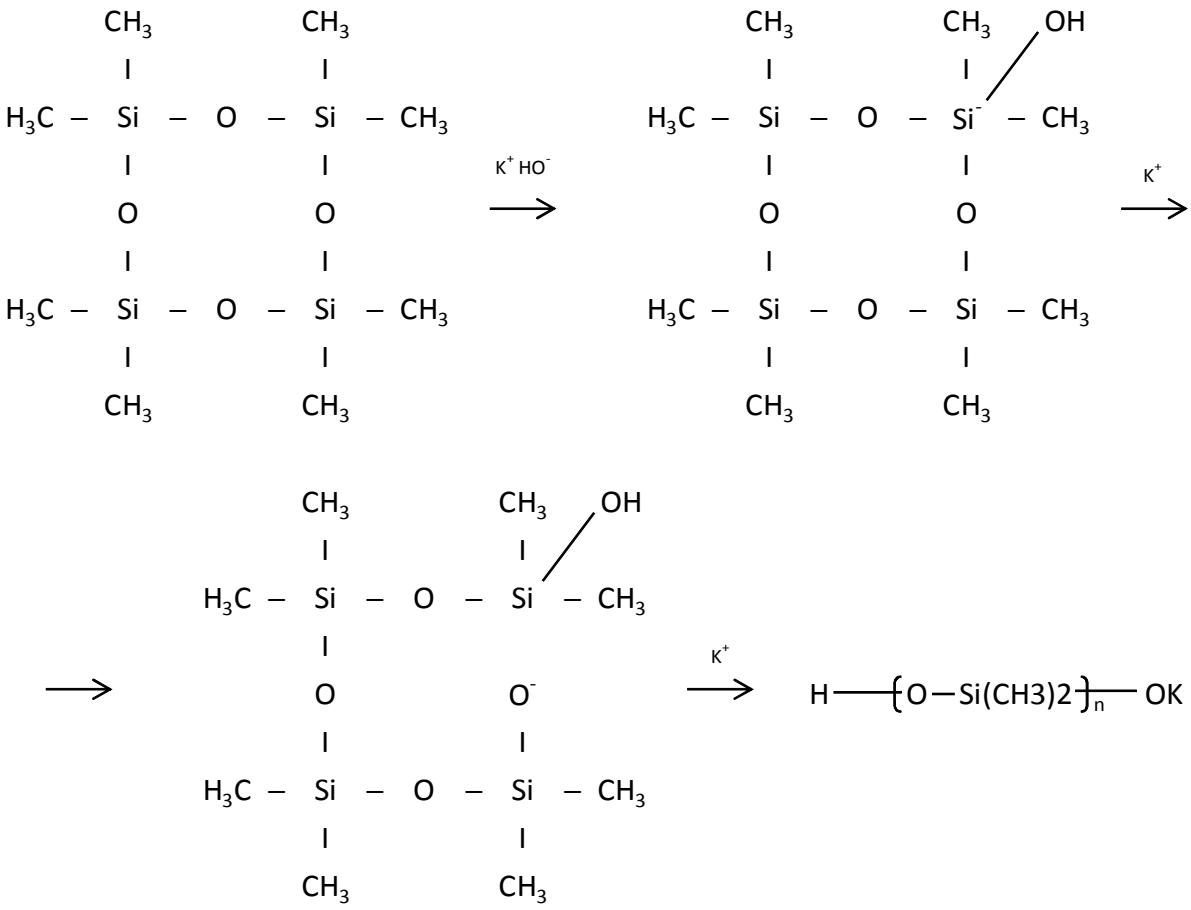
2.1.1 Silikonové emulze

Jedná se o methylsilikonové oleje, které po zreagování s vodou vytvoří emulzi bílé nebo nažloutlé barvy. Tyto emulze mají obdobné výhody, oproti emulzím založených na minerálních základech, jako silikonové oleje. Tudíž jsou teplotně stálé, při vysokých teplotách jen velmi málo těkají, nekorodují materiál formy atd. Používají se jako separátory ve

zředěném stavu při lisování, odlévání a vstřikování součástí z kovů, plastů a pryží.
[9][10] [12]

2.2 Silikonové kaučuky a pryže

Silikonové kaučuky se připravují z čistých cyklických siloxanů, a to konkrétně z hexamethylcyklotrisiloxan a oktamethylcyklotetrasiloxan. Následnou kyselou, nebo alkalickou polymerací se vytvářejí lineární kaučukovité polymery. K tomu slouží směs kyseliny sírové a síranu hlinitého, nebo KOH. Následující obr. 8 popisuje použití KOH.



Obr. 8 *Příprava lineárního kaučuku pomocí KOH*

Tyto kaučuky se dělí dle teploty vulkanizace a tlaku při tomto procesu. Mohou se vulkanizovat při běžné neboli pokojové teplotě nebo při teplotách vyšších. To zároveň pod tlakem nebo naprosto bez tlaku. Pokud probíhá vulkanizace při vyšší teplotě (tj. 80 °C až

110 °C, nebo 140 °C až 160 °C) a v tlaku, používá se většinou dibenzylperoxid jako vulkanizační činidlo a proces probíhá ve formách v hydraulických lisech. Při vulkanizaci beztlakové při vyšší teplotě se využívá jako katalyzátor bis-(2,4,-dichlorbenzoyl)peroxid.

Katalyzátor neboli vulkanizační činidlo je připojeno ke konci makromolekuly a jeho zbytky jsou deaktivovány po polymeraci neutralizací nebo jsou vypírány vodou a následně se odstraní zbytek monomeru destilací ve vakuu. Katalyzátorem lze ovlivňovat molekulovou hmotnost resp. jeho množstvím. Toto se v praxi nepoužívá. Bylo zjištěno, že při koncentraci katalyzátoru pod 0,01%, se dosahuje lepších vlastností. Zejména vyšší tepelné stability a vyšších elektroizolačních vlastností. Z tohoto důvodu se pro regulování molekulové hmotnosti využívá hexamethylsiloxanu.

Vlastnosti těchto silikonů jsou následující. Výborná tepelná stabilita tzn. krátkodobě až 250 °C, dlouhodobě je udávána hodnota 150 °C. Při nižších teplotách tj. -50 °C až -60 °C si ještě zachovávají svou elasticitu a jsou ohebné. Některé speciální typy mají ještě posunutou spodní hranici na -90 °C. Mají velmi dobré elektroizolační vlastnosti, ale také menší strukturní pevnost, která lze odstranit přidáním speciálních plniv. Mají menší odolnost vůči oděru. Oproti tomu daleko lépe odolávají účinkům slunečního záření, radiaci i řadě chemikáliím.

Jejich využití je v mnoha oborech. Například v průmyslu kabelářském, jako izolant vodičů, které jsou tepelně namáhány (po shoření zůstane pouze nevodivý křemičitý popel). Pro taktéž namáhané součástky ve strojírenství, elektrotechnice i automobilovém průmyslu. V letectví pro rozvedení horkého vzduchu a olejů. Také slouží u přístrojů, které pracují při vysokých nebo nízkých teplotách, k tlumení jejich vibrací. Dále jako tmely a zalévací hmoty v potravinářském, chemickém a farmaceutickém průmyslu. V lékařství například jako kontaktní čočky a implantáty.

Kaučuky vulkanizované při běžných teplotách jsou především používány jako zalévací materiály pro transformátory a čela vinutí elektrických přístrojů a strojů. I takto vulkanizované kaučuky se využívají v lékařství a to zejména jako obtiskovací dentální hmoty. [9][10][11][12]

2.2.1 Silikonové tmely a lepidla

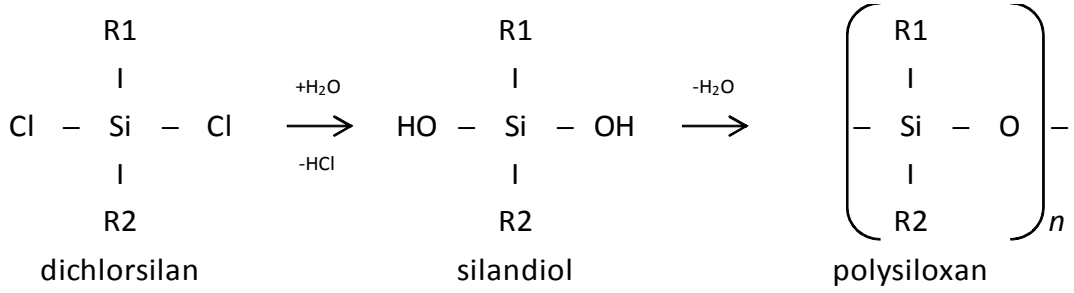
Jedná se o substance jednosložkové, které se za obvyklých teplot vytvrzují vlivem běžné vlhkosti vzduchu.

Mají výborné adhezivní vlastnosti k řadě kovů a také ke sklu. Na rozdíl oproti ostatním lepidlům mají široký teplotní rozsah. Silikonové tmely a lepidla obecně snášejí teploty od -60 °C do +260 °C. Slepená část má charakter pryže, tím pádem jsou spoje pružné a zabraňuje se, u dílů s odlišnou roztažností, praskání.

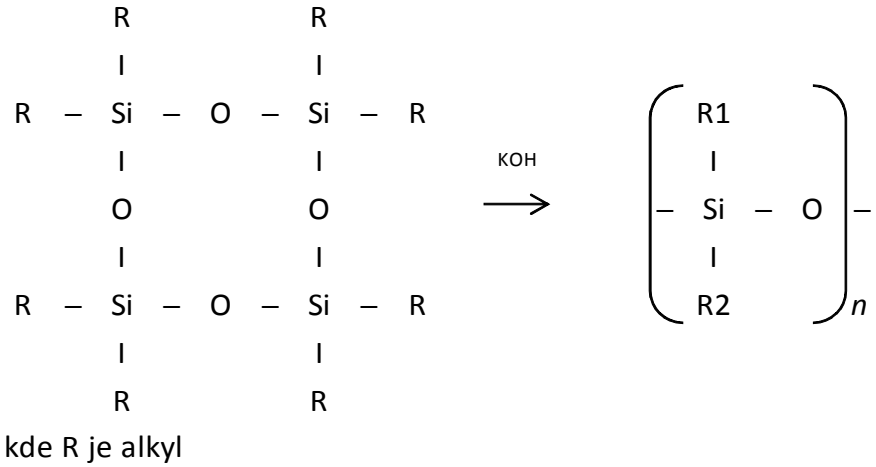
Vytvářejí i v neobvyklých kombinacích pevné spoje. Mohou se využívat i k lepení silikonových pryží. [12]

2.3 **Silikonové pryskyřice**

Tyto pryskyřice se připravují nejčastěji z methylchloridů a fenylchloridů (např. dimethyldichlorsilan, fenyltrichlorsilan), ovšem proces, při kterém pryskyřice vznikají, je odlišný, než při výrobě silikonových olejů. Tyto silany se hydrolyzují a následně samovolně polykondenzují. Také se mohou připravovat polymerací cyklosiloxanů.



Obr. 9 *Příprava silikonové pryskyřice hydrolýzou*



Obr. 10 *Příprava silikonové pryskyřice polymerací cyklosiloxanu*

Když se směs dvoj- a troj- funkčních monomerů hydrolyzuje, vznikají makromolekuly silikonových pryskyřic (prostorově rozvětvené až sesíťované). Míra sesítění je určována množstvím trichlorderivátu v prvotním produktu, a tím jsou zároveň ovlivněny výsledné vlastnosti dané pryskyřice. Jejich formování probíhá lisováním za tepla. Základní mixy obsahují různé tvrdící materiály, proto mají omezenou skladovací dobu.

Z polysiloxanů methylových se vytvářejí pryskyřice, které odolávají zvýšeným teplotám. Tvrdá vrstva vzniklá po zaschnutí pryskyřice má k podkladovým materiálům menší přilnavost.

Z polysiloxanů fenylových se naopak po zaschnutí vytvoří neobvykle pevně přilnavé, termoplastické vrstvy.

Obecně mají silikonové pryskyřice vysokou tepelnou odolnost (krátkodobě až 300°C a trvale 180 - 200 °C). Při vyšším teplotním namáhání dojde k odtržení organických supin a tím se stávají křehkými. Jsou také velmi hydrofobní a značně odolné vůči povětrnostním podmínkám, ultrafialovému záření a také ozónu. K horké vodě a transformátorovým olejům jsou inertní až do teploty 150 °C. Dále odolávají až 50% kyselině sírové a koncentrované kyselině chlorovodíkové. V neposlední řadě mají výborné elektroizolační vlastnosti a to zejména minimální změny elektrických veličin závislých na teplotě.

Jsou využívány pro výrobu nátěrových hmot, které odolávají zvýšeným teplotám. Ty jsou pak použity jako ochranné nátěry pro např. žáruvzdorné nádrže, výměníků tepla, spalovací motory (konkrétně výfukového potrubí) atd. Také jsou používány jako přísady k mísení s jinými druhy pryskyřic (např. v lékařství).

V elektrotechnice se využívají jakékoliv silikonové pryskyřice jako pouzdřící materiály a také jako materiály zalévací. [9][10][11][12]

2.3.1 Silikonové laky

Silikonové laky se vytvářejí rozpuštěním silikonových pryskyřic např. v xylenu. Po skončení procesu se rozpouštědlo odpaří a vzniklý povlak se následně vytvrdí. Výběrem vhodného rozpouštědla se dají vytvořit roztoky, které jsou předurčeny pro přípravu elastických povlaků.

Vzniklé povlaky, jsou všechny obecně odolné proti působení chemických činidel. Zároveň jsou hydrofobní a tvrdé.

Elastické povlaky jsou vhodnými impregnanty pro různé tkaniny. Obecně se silikonové laky využívají pro impregnaci elektrických strojů točivých, cívek a bužírek.
[12]

2.4 Silikonové elektricky vodivé kaučuky

Stejně jako u ostatních vodivých kaučuků se i u silikonového snižuje rezistivita přidáním vodivých plnidel. Grafit je častou náplní těchto vodivých kaučuků, nebo se využívá různých kovových prášků.

Oproti ostatním kaučukům (převážně přírodních) nejsou silikonové vulkanizované sírou a také neobsahují žádná změkčovadla. Tímto nedochází k reakci s kovy a tudíž jsou přímo výhodné pro náročné použití (např. kontakty). Další využívaná vlastnost u silikonových vodivých kaučuků je, že jsou velmi stálé i při vysokých výkyvech teplot. [12]

3 Uplatnění silikonů v elektrotechnice

3.1 Silikonové kaučuky a pryže

Sylgard	N 6681	S 517	DC 170	DC 182	DC 184	
Barva		čirá		čirá	čirá	
Tvrdost měřená duroskopem	57		48	40	40	°ShA
Mez pevnosti v tahu	2,2		3,5	6,2	6,2	MPa
Specifická hustota při 25°C			1,38	1,05	1,05	-
Elektrická pevnost	41	15	18	22	22	kV/mm
Permitivita při 100Hz			3,15	2,7	2,75	-
Permitivita při 100kHz			3,1	2,7	2,75	-
Objemový měrný odpor		$3 \cdot 10^{15}$	$1 \cdot 10^{15}$	$2 \cdot 10^{15}$	$1 \cdot 10^{15}$	Ω·cm
Tepelná vodivost	1,5			0,146	0,146	W/m·K

Tab. 1 *Porovnání silikonových kaučuků a pryží* [16][17][18][19]

SYLGARD 170 A&B SILIKONOVÝ RTV KAUČUK

Charakteristika:

Silikonový kaučuk Sylgard 170 A&B má vynikající samozhášecí schopnost. Je certifikován dle normy EN 50028 (VDE 0170/0171 díl 9/10.80 zapouzdření typ “m” - nebezpečí výbuchu). Tento kaučuk je lehce zpracovatelný a zároveň snadno opravitelný. Dále je vysoce spolehlivý a odolný. V teplotním rozsahu - 60 °C až + 200 °C nedochází k depolymerizaci.

Použití:

Tento silikonový kaučuk je používán zejména pro zalévání a zapouzdřování elektrických zdrojů, transformátorů, relé, zesilovačů, konektorů i feritových jader. Dále je tento elastomer využíván pro zapouzdřování a zalévání TV transformátorů, velkých zvedacích magnetů ale i automobilových elektronických jednotek. [17]

SYLGARD 517 A&B

Charakteristika:

Sylgard 517 A&B je čirý samozacelující gel, který má elektrickou a fyzikální stabilitu v širokém rozsahu teplot a to konkrétně od - 50 °C až do + 200 °C. Bez použití základních nátěrů má vytvrzený gel trvalou adhezi k většině materiálům. Dále se vyznačuje dobrou odolností vůči teplotním změnám a zároveň tlumí mechanické rázy a vibrace. Vytvrzování tohoto gelu je možné při normální teplotě, ale je také možné zrychlené vytvrzování a to při zvýšené teplotě. Hodnoty udávané v tabulce jsou po jednohodinovém vytvrzování při 150°C. Při tomto procesu vytvrzování se neuvolňují žádné vedlejší produkty.

Použití:

Sylgard 517 A&B je dielektrický silikonový gel, který se používá pro aplikace, kde se vyžaduje dlouhotrvající těsnící efekt proti vlhkosti a dalším atmosférickým kontaminantům.

Tento gel je obzvláště vhodný při používání k těsnění proti vodě a ochraně citlivých elektronických obvodů, nebo hybridních obvodů, ale i při těsnění malých zařízení, v optoelektronice, zalévání optických kabelů, nebo spojek apod. [16]

SYLGARD 182 A 184

Charakteristika:

Silikonové kaučuky Sylgard 182 a 184 jsou čiré, samozhášecí a použitelné v širokém rozsahu teplot tj. od - 55 °C do + 200 °C. Taktéž mají fyzikální a elektrickou stabilitu v širokém rozsahu frekvencí a vlhkosti. Poskytují vynikající ochranu proti vnějšímu prostředí, mechanickému poškození a výborně odolávají radiaci. Stejně jako Sylgard 170 jsou snadno opravitelní a nedochází k depolymerizaci. Rozdíl mezi těmito dvěma kaučuky je v procesu vytvrzování. Sylgard 184 je vytvrzován pokojovou teplotou a Sylgard 182 je vytvrzován teplem.

Použití:

Tyto silikonové kaučuky jsou navrženy jako licí a zapouzdřovací přípravky. Jako takové poskytují dobrou a pružnou ochranu pro zdroje proudu, transformátory, relé, zesilovače, feritová jádra, vinutí a konektory.

Také mohou být využity pro zapouzdřování desek plošných spojů a komponentů, dále jako adheziva a zapouzdřovače pro solární články. Také se využívají pro elektronické aplikace v automobilovém průmyslu. [18]

LUKOPREN N 6681

Charakteristika:

Lukopren N 6681 je silikonová viskózní pasta, která vulkanizuje za normální teploty a po přidání Lukopren katalyzátoru na silikonovou pryž se zvýšenou tepelnou vodivostí. Doporučené dávkování Lukopren katalyzátoru je 1,5 hmotnostního procenta.

Použití:

Tento silikonový produkt je určen pro aplikace, při kterých se vyžaduje vysoká elektrická pevnost a zároveň vyšší tepelná vodivost materiálu. Z toho vyplývá vhodnost pro elektrotechnické a elektronické součásti a zařízení, jako zalévací a elektroizolační materiál. Kvůli svému malému lineárnímu smrštění je zvláště výhodný pro zalévání citlivých prvků, nebo celků.

Po zvulkanizování má Lukopren N 6681 velmi nízkou adhezi k ostatním materiálům. Při potřebě přilnavosti určitých spojovaných ploch je nutné tyto plochy předem upravit speciálními spojovacími prostředky, tzv. primery. [19]

3.2 **Lepidla a tmely**

	DC 3140	DC 866	
Mez pevnosti v tahu	2	6,5	MPa
Poměrné prodloužení	350	210	%
Tepelná vodivost	0,12	0,28	W/(m·K)
Objemový koeficient tepelné roztažnosti	$8{,}8\cdot10^{-4}$	$10{,}8\cdot10^{-4}$	1/K
Elektrická pevnost	19	19	kV/mm
Objemový měrný odpor	$0{,}5\text{x } 10^{15}$	$2\text{x } 10^{15}$	ohm·cm

Tab. 2 *Porovnání silikonových lepidel* [20][22]

SILIKONOVÉ LEPIDLO DOW CORNING 866

Charakteristika:

Silikonové lepidlo Dow Corning 866 je jednosložkové a roztékavé. Za tepla dochází k rychlému vytvrzování. Hodnoty uváděné v tabulce jsou po jednohodinovém vytvrzení při 150 °C. Tento produkt také nevyžaduje základní povlak, adhese je možná bez použití primeru. Nevytváří žádné vedlejší produkty při vytvrzování. Dosahuje vysoké pevnosti v trhu. Po vytvrzení pružná guma chrání proti mechanickým rázům a cyklickému tepelnému namáhání. Zůstává stabilní a pružný při vysokém výkyvu teplot tj. od -50 °C do +200 °C. Má také výborné dielektrické vlastnosti.

Použití:

Toto silikonové lepidlo je vhodné pro dlouhodobé spojování a ochranu proti vlhkosti, účinkům prostředí, mechanickým a teplotním šokům. Také má dobré účinky proti vibracím, a to zvláště tam, kde je preferován roztékavý jednosložkový produkt. [20]

LUKOPREN S 3782

Parametry uváděné u tohoto výrobku jsou odlišné od ostatních, tudíž je nelze porovnat

Barva	šedá, cihla, černá	
Hustota	1250	kg/m3
Viskozita	10	Pas
Tvrdost	20	°ShA
Pevnost	0,6	N/mm2
Tažnost	210	%
Tepelná odolnost	-50 / +180	°C

Tab. 3 *Tabulka parametrů Lukopren S 3782* [21]

Charakteristika:

Silikonový tmel Lukopren S 3782 je jednosložkový a je vyráběn ve třech barevných variantách. Z podstaty silikonů je dobře tepelně odolný (-50 °C až +200 °C), dále pak je odolný proti UV záření, ozónu, povětrnosti a v neposlední řadě také proti působení vody. Chemická odolnost tohoto tmelu je také dobrá. Kromě toho se vyznačuje výbornými elektroizolačními vlastnostmi (avšak výrobce neuvádí konkrétní hodnoty). Je certifikován dle ČSN EN ISO 11600.

Použití:

Tento jednosložkový silikonový tmel Lukopren S 3782 nachází uplatnění v elektrotechnice k zalévání integrovaných obvodů, nebo vývodů topných těles. Ovšem tento tmel musí být zaléván na povrchy které jsou čisté, suché a odmaštěné. [21]

DOW CORNING DC 3140 RTV COATING

Charakteristika:

Toto silikonové lepidlo je vyznačováno výbornými elektrizolačními vlastnostmi a to v širokém rozsahu teplot a frekvencí. Dále také dobrou přilnavostí ke sklu, keramice, kovu a většině plastů. Je antikorozní a neobsahuje žádná rozpouštědla. Toto lepidlo se vytvrzuje při normálních teplotách. Hodnoty v tabulce jsou po sedmidenním vytvrzení při 25°C. Je certifikován dle norem MIL-I-46058C a MIL-I-46146A.

Použití:

Lepidlo Dow Corning 3140 RTV je využíváno pro ochranu součástek citlivých na korozi, které jsou osazeny na deskách plošných spojů a také jsou s ním zapouzdřovány miniaturní obvodu a konektory. Typickou aplikací jsou pružné povlaky na osazené plošné spoje, tlustovrstvé hybridní obvody, ochrana oscilátorových krystalů a jiných křehkých materiálů. Také se tento druh silikonového lepidla využívá pro utěsnění kabelových zakončení a pro opravu již vytvrzených povlaků silikonových RTV pryží. [22]

3.3 **Pěny**

SILIKONOVÁ PĚNA DOW CORNING 3-6548

Parametry:

Barva	šedočerná	
Čas vyplnění	1,5	min
Hustota	320	kg/m^3
Mez v pevnosti v tahu	0,23	MPa
Tepelná vodivost	$7{,}5 \cdot 10^{-2}$	W/m·K
Elektrická pevnost	6,6	kV/mm
Ztrátový faktor při 100 Hz	0,005005	
Objemová rezistivita	$2{,}24 \cdot 10^{15}$	Ω/cm

Tab. 4 *Tabulka parametrů DC 3-6548* [23]

Charakteristika:

Tato silikonová pěna je vyráběna pouze v jednom barevném provedení a to šedočerném. Byla vyvinuta za účelem zvýšení odolnosti elektrických instalací proti ohni a jeho šíření. Z toho vyplývá že dosahuje vysoké tepelné stability a navíc při požáru vytvoří izolační nehořlavou vrstvu a žáruvzdornou hmotu, která dále zabraňuje šíření požáru.

Použití:

Nejčastější použití je zejména v objektech či zařízeních se zvýšeným nebezpečím požáru, kde se provádí elektroinstalační montáže a tam. Tento materiál je používán v mnoha

jaderných elektrárnách po celém světě, také v nejrůznějších zařízeních energetického průmyslu. Dále se také využívá v různých důležitých objektech (vojenská zařízení, nemocnice, letiště, telekomunikační zařízení, hotely apod.) při ošetřování jejich energetických sítí. [23]

3.4 **Oleje**

LUKOSIOL M 15 A M 500

Parametry:

Lukosiol	M 15	M 500	
Elektrická pevnost při 25°C, min	200	200	kV/cm
Ztrátový činitel tg φ při 50 Hz a 25°C	0,0001	0,0001	
Měrný vnitřní odpor při 25°C a 60% rel. vlh., min	10^{14}	10^{14}	Ωcm/500 V
Bod tuhnutí	pod - 60	pod - 60	°C
Bod vzplanutí	nad 150	nad 200	°C
Viskozita při 25°C	15±1,5	500±25	mm^2/s

Tab. 5 *Tabulka parametrů Lukosil M 15 a M 500* [24]

Charakteristika:

Lukosiol M 15 a M 500 jsou silikonové oleje, který mají téměř stejné vlastnosti. Je to vysoká tepelná stabilita v oblasti vysokých, nebo naopak nízkých teplot, z čehož plyne i velmi malá změna viskozity při rozdílných teplotách. Mají velice dobré dielektrické vlastnosti, které se jen málo mění s teplotou a frekvencí. Dále disponují schopností odpuzovat vodu, jsou také vysoce stlačitelné. Mají velmi dobrou chemickou odolnost a jsou fyziologicky inertní. V širokém rozmezí viskozit se může pochlubit téměř neměnnou hustotou (970 kg/m^3). Jediným rozdílem mezi těmito dvěma oleji je vidět v tabulce parametrů a to konkrétně v hodnotě viskozity.

Použití:

Tyto oleje jsou využívány jako kapalná dielektrika např. pro kapalinové kondenzátory, pulzní transformátory, radarová zařízení, usměrňovače a magnetofony. [24]

3.5 **Laky**

	M 130	PS 60	4101	
Obsah netěkavých složek	50±2		min. 50	%
Měrná hmotnost	1010 ± 10		1010 ± 10	kg/m^3
Viskozita	30 - 40		60 - 110	mPa·s
Třída hořlavosti	2		2	-
Tepelná odolnost	max. 230	max. 250	max. 230	°C
Elektrická pevnost		20	60	kV/mm

Tab. 6 *Porovnání silikonových laků* [26] [27] [28]

OCHRANNÝ LAK PRO ELEKTRONIKU PLASTIC SEAL 60

Charakteristika:

PLASTIC SEAL 60 je ochranný silikonový lak, který je čirý a vysoce odolný. Vytvořený pružný transparentní film je snadno opravitelný a umožňuje následné zalakování. Povrchová resistivita je $5 \cdot 10^{15}$ Ω/cm a doba vytvrzení se pohybuje okolo 10 minut. Jak je již zvykem u silikonových produktů, laky nejsou výjimkou, mají vysokou tepelnou stabilitu v oblasti vysokých i nízkých teplot. Taktéž je vyznačován vysokou hydrofobní vlastností.

Použití:

Tento lak je používán pro ochranu desek plošných spojů a jiných elektronických dílů. V případě potřeby vytvoření odolnější vrstvy je možno tento ochranný lak nanášet na desku plošného spoje opakovaně. Ochranný lak působí jako prevence oblouku ve vysokonapěťových zařízeních, chrání proti oxidaci, korozi a vlhkosti. [26]

METYLSILIKONOVÝ LAK LUKOSIL M 130

Charakteristika:

Tento silikonový lak je dodáván ve formě roztoků v organických rozpouštědlech. Po procesu nanesení a vytvrzení vykazuje vynikající vlastnosti. Zejména je tepelně velice odolný a to v širokém rozsahu teplot. Dále je vyznačován odolností proti povětrnostním podmínkám a UV záření. Doba schnutí je maximálně osm hodin.Vytvrzená vrstva filmu má hydrofobní a separační vlastnosti

Použití:

Tento silikonový lak je využíván jako pojivo elektroizolačních a tepelně odolných směsí a tmelů a při výrobě elektroizolačních desek. Také se využívá jako ochranný nátěr desek tištěných spojů. Pro dosažení lepšího rozlivu na deskách tištěných spojů je doporučeno jeho naředění butanolem v množství do 10 hmotnostních procent. [27]

METYLFENYLSILIKONOVÝ LAK LUKOSIL 4101

Charakteristika:

Lak Lukosil 4101 má hnědofialové zabarvení. Je to v podstatě roztok methylfenylsilikonové pryskyřice v xylenu. Vytvrzuje se při teplotách vyšších než 200 °C a to podporuje katalyzátor pro rychlejší vytvrzení. Vyznačuje se odolností ve velkém rozsahu teplot, dále proti povětrnostním podmínkám a UV záření. Vytvrzená vrstva filmu má hydrofobní a separační vlastnosti.

Použití:

Tento lak obsahuje katalyzátor, který zkracuje dobu tepelného vytvrzení . Je určen především pro impregnaci elektrických zařízení, převážně vinutí elektrických točivých strojů, trakčních strojů, a elektrických motorů, pracujících v tepelné třídě H. Na předměty se nanáší tento lak máčením, stříkáním, natíráním, nebo poléváním. [28]

3.6 **Silikonový elektricky vodivý kaučuk**

DOW CORNING DA 6524

Parametry:

Viskozita	28000	mPa·s
Tvrdost	83	Shore A
Objemový měrný odpor	$3 \cdot 10^{-3}$	Ω/cm

Tab. 7 Parametry *DA 6524* [29]

Charakteristika:

Tento kaučuk je jednosložkový a má hnědé zabarvení. Oproti nevodivým kaučuků je fundamentálně charakterizován dobrou elektrickou vodivostí. Ostatní charakteristiky v podstatě zůstávají stejné, nebo podobné. Je to např. vysoká tepelná stabilita, nebo vynikající přilnavost. Dále není náročný na teplotně rozdílné rozhraní.

Použití:

Tento silikonový kaučuk je využíván v oscilátorech a to konkrétně na jeho elektrodách. Dále také v elektrickém uzemnění nebo v připojení kondenzátorů, ale také v keramických filtrech. [29]

4 Rozvaha o využitelnosti a perspektivě silikonů v elektrotechnice

Obecnou využitelnost lze popsat třemi hledisky tzv. 3E: Ekonomické, ekologické a energetické.

4.1 Ekonomické hledisko

Do tohoto hlediska zajisté spadá více kategorií. Jsou to pořizovací náklady daného výrobku, náklady na provoz a v neposlední řadě náklady na likvidaci. Pořizovací náklady a náklady na likvidaci není potřeba vysvětlovat. Pro přesnější pochopení nákladů na provoz je uveden příklad: v transformátoru máme elektroizolační olej, který je potřeba jednou za určitou dobu regenerovat a filtrovat, aby splňoval doporučené parametry ČR. Tím jsou myšleny náklady na provoz daného produktu.

Náklady na provoz a likvidaci jsou téměř srovnatelné jak u silikonových, tak i nesilikonový produktů. Z toho vyplývá, že nejrozdílnější jsou náklady pořizovací. Pořizovací náklady silikonový výrobků jsou vyšší než pořizovací náklady ekvivalentních nesilikonových výrobků. Je to dáno složitějším a finančně náročnějším výrobním procesem při "téměř" stejných parametrech.

Z tohoto hlediska jsou silikony nebo-li silikonové výrobky méně výhodné pro praktické využívání dnes a pokud se výrobní proces v budoucnu technologicky nezjednoduší, budou stále z tohoto hlediska silikonové produkty nevýhodné. Ovšem pouze ve srovnání s jinými druhy produktů (ať syntetické, nebo přírodní), které jsou schopny vyhovit požadavkům, dané aplikace, svými parametry.

4.2 Ekologické hledisko

Toto hledisko je možné dále rozdělit do dvou skupin. Jimiž jsou ekologie výroby a ekologie výrobku jako takového.

Výroba silikonových produktů je poměrně ekologicky nenáročná, avšak je při ní využívána resp. vytvářena kyselina chlorovodíková, což je látka, která je velmi nebezpečná jak pro člověka, tak i pro životní prostředí. Naproti tomu pokud jsou dodrženy všechny bezpečnostní normy a předpisy, je více zatěžující (z hlediska životního prostředí) např. výroba elektřiny pro daný závod.

Oproti výrobě jsou obecně silikonové produkty zcela bezpečné pro životní prostředí a taktéž pro člověka. To platí téměř o všech silikonových produktech, až na výrobky, ve kterých tvoří silikony pouze určitou část. Silikony jsou z hlediska ekologického inertní a proto v tomto smyslu přebírají vlastnosti prvku, se kterým jsou smíšeny.

V tomto směru mají silikony výborné vlastnosti a tudíž byly a jistě i budou používány právě tam, kde se na toto hledisko apeluje nejvíce.

4.3 Energetické hledisko

Tato perspektiva je poměrně složitá na porovnání s jinými (nesilikonovými) produkty. Může být rozdělena do dvou skupin. Přičemž první je energetická náročnost výroby produktu a druhá skupina je energetické uplatnění.

V praxi je stanovení přesné energetické náročnosti výroby daného silikonového, nebo nesilikonového produktu opravdu velice obtížné. Jelikož výroba silikonových produktů je o něco náročnější lze předpokládat, že bude taktéž energeticky náročnější. Ovšem ve výsledku bychom se dostali k podobné hodnotě u obou produktů (silikonový a nesilikonový).

Z hlediska energetického uplatnění mají silikonové výrobky jisté přednosti oproti nesilikonovým. Silikonové produkty mají obecně lepší parametry (ať už např. vyšší tepelné rozsahy, tak i vyšší maximální dielektrické pevnosti) , než jejich nesilikonový oponenti. Dále také mají vyšší odolnosti proti nepříznivým vlivům a s tím je spojena životnost a spotřeba daného produktu.

Z energetického hlediska jsou silikonové produkty vhodnějšími kandidáty pro uplatnění než nesilikonové.

4.4 Perspektiva silikonů

Perspektiva silikonů je jistě velmi dobrá. Již dnes jsou hojně využívány napříč všemi obory, ale v budoucnosti najdou ještě širší využití. Silikony by se také mohly využívat ve sloučených formách materiálů např. v kompozitech.

4.4.1 Kompozitní materiály

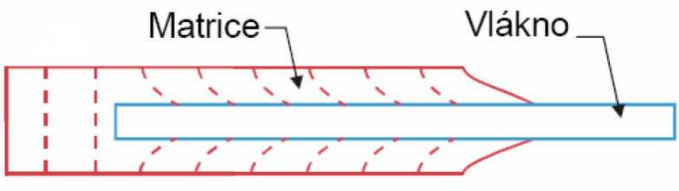
Kompozity, jsou nazývány takové materiály, které jsou složeny ze dvou nebo více složek, avšak oproti slitinám musí tyto složky mít výrazně rozlišné mechanické, chemické a fyzikální vlastnosti. Pokud se tyto složky sloučí do jediného materiálu, vzniká nový materiál s jedinečnými vlastnostmi, které dané složky nemají samostatně.

Tyto kompozity jsou tvořeny jednou nebo více nespojitými fázemi, které jsou vnořeny do spojité fáze. Tato fáze (spojitá) se taktéž nazývá jako matrice. Matrice slouží převážně k tomu, aby propojila jednotlivé nespojité fáze k sobě.

Rozdělení kompozitních materiálů:

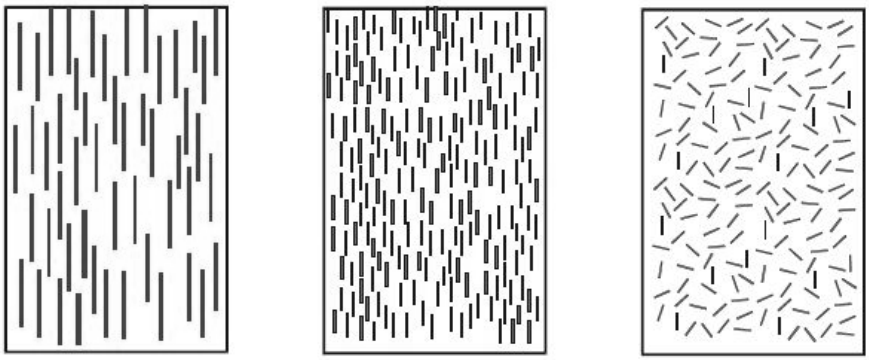
- Partikulové
- Strukturální
- Vláknové

Toto je základní dělení kompozitních materiálů. Každý z těchto kompozitů se dále dělí na další nejméně dvě skupiny, přičemž každá má své specifické vlastnosti. Vláknové se dále dělí na dlouhovláknové (obsahující spojitá vlákna) a krátkovláknové (obsahující diskrétní vlákna).



Obr. 11 *Vláknové kompozity* [30]

Silikony by mohly mít uplatnění v posledním z jmenovaných, neboli v krátkovláknových kompozitních materiálech jako matrice. Ve vláknových kompozitech se nejčastěji používají tři typy vláken. Jsou to skleněná vlákna, uhlíková vlákna, nebo kevlarová vlákna. V krátkovláknových jsou většinou nahodile upořádané jak je vidět na obr. 12 c). Tyto vlákna plní v kompozitech nosnou funkci. [30][31]



a) dlouhá vlákna b) krátká vlákna c) nahodile uspořádané

Obr. 12 *Typy vláknových kompozitů* [30]

Matrice je převážně tvořena polyethylenem, nebo polypropylenem z ekonomického i zpracovatelského hlediska. Přesto jsou však, ač v menší míře, používány dražší a náročnější, a to za účelem dosažení vyšších hodnot např. tepelných nebo mechanických odolností. Jak již bylo zmíněno, matrice by měla propojovat nespojité fáze a přenášet do nich zatížení. Také by je měla chránit proti narušení.

Požadavky na matrici tedy jsou:

- odolnost proti okolnímu prostředí
- tepelná odolnost a stálost
- adheze k výztuži
- dobré mechanické a dielektrické vlastnosti
- houževnatost

Tyto parametry jsou více než jen splněny u silikonových polymerů. Ty mají vysokou odolnost proti okolnímu prostředí, vysokou tepelnou odolnost i stálost, velmi dobré dielektrické vlastnosti, výbornou adhezi zejména ke sklu a zároveň jsou také houževnaté. Z

tohoto aspektu jsou silikony výhodným materiálem pro používání jako matric v krátkovláknových kompozitních materiálech.

Výsledné vlastnosti kompozitů jsou vytvářeny mnoha faktory. Nejvíce ovlivňující jsou samozřejmě vlastnosti jednotlivých složek, které se podílejí na kompozitu. Nicméně se nemusí výsledek rovnat součtu těchto vlastností. Také záleží na geometrii vyztužení tj. velikosti, tvaru, případně způsobu vrstvení. Dále záleží na vlivu koncentrace, koncentrační distribuce a orientace.

Jsou využívány v různých odvětvích (např. v letectví jako lopatky kompresorů a turbodmychadel, v kosmonautice např. jako anténa Hubblova teleskopu, ve sportu jako tenisové rakety, lyže apod.). [30][31][32]

Vlastnosti krátkovláknového kompozitního materiálu ze skleněných vláken se silikonovou matricí by měli základní vlastnosti následující. Podle stupně plnění skleněných vláken, délky těchto vláken a jejich orientace by se zvyšovala pevnost a tuhost daného kompozitu. Jelikož skleněná vlákna mají vyšší tepelnou odolnost než silikony, tak by tuto hodnotu neurčovaly. Stanovily by ji právě silikony, které tuto hodnotu mají sice nižší, ale stále velmi dobrou oproti ostatním polymerům. Další vlastnosti by měl tento kompozit podle použitého silikonu. Tyto vlastnosti jsou popisovány v předchozích kapitolách.

Tento výsledný kompozit by měl využití v náročných aplikacích (např. v elektrických točivých strojích) kde je tvořen důraz na pevnost, vysokou tepelnou vodivost a odolnost, dielektrickou pevnost a odolnost proti povětrnostním podmínkám. Nevýhodou tohoto kompozitu by byla vysoká pořizovací cena. Konkrétní parametry jsou navrhovány přesně dle potřeby využití.

Závěr

Silikony resp. silikonové produkty jsou velmi kvalitní s vynikajícími vlastnostmi, které nacházejí uplatnění v mnoha oborech (od lékařství až po stavebnictví). V elektrotechnice jsou již dnes také hojně využívány. Zejména při náročnějších aplikacích, u kterých je dbán důraz na tepelnou stabilitu a odolnost.

Jsou také velmi vhodnými součástmi do slitin a kompozitů. Silikony se přímo nabízejí jako matrice do nahodile uspořádaných krátkovláknových kompozitů například se skelnými vlákny. Tato vlákna zaručují vysokou mechanickou pevnost a silikonová matrice by určovala tepelné vlastnosti a zároveň mechanickou ochranu pro skelná vlákna.

Z ekologického hlediska, na které je brán stále větší zřetel, jsou silikony velmi vhodným materiálem. Jsou pro člověka naprosto inertní a proto jsou hojně využívány ve zdravotnictví. Z energetického pohledu jsou silikony taktéž velmi dobrým materiálem, který má dobré mechanické i tepelné vlastnosti a je velice variabilní pro používání. Z hlediska ekonomického jsou silikony méně atraktivní, protože jejich cena je ve srovnání s jinými druhy vyšší, a proto jsou využívány tehdy, pokud se bere větší zřetel na předchozí dva pohledy.

Použitá literatura

[9] MLEZIVA, Josef. *Polymery - výroba, struktura, vlastnosti a použití*. 2. přepr. vyd. Praha: Sobotáles, 2000, 537 s. ISBN 80-859-2072-7

[10] ŠKEŘÍK, Jan. *Plasty v elektrotechnice a elektronice*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1991, 514 s. ISBN 80-030-0657-0.

[11] DUCHÁČEK, Vratislav. *Polymery*: *výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. Vyd. 2., přeprac. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2006, 278 s. ISBN 80-708-0617-6.

[12] ROUS, B. *Materiály pro elektroniku a mikroelektroniku*: *výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. Vyd. 2., přeprac. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 1991, 463 s. ISBN 80-030-0617-1

[30] HORÁK, Pavel. Vliv struktury na mechanické chování vstřikovaných plošných prvků. 2009. Dostupné z: http://www.cacapa.wz.cz/Diplomova_prace.pdf.

Internetové stránky

[1] http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=15886

[2] http://leccos.com/index.php/clanky/kremik

[3] http://fyzika.gjvj.cz/index.php/pokusy/molekulova-f/70-zmeny-skupenstvi

[4] http://cs.wikipedia.org/wiki/Křemík

[5] http://amapro.cz/datove_zdroje/stranky/chemicke_prvky/chemicprvek_14.php

[6] http://www.gweb.cz/dotazy/d-142/

[7] http://absolventi.gymcheb.cz/2010/roplach/kremik.html

[8] http://www.i15.cz/kremik/

[13] http://www.vscht.cz/uchi/reaktory/nano/technicka_zprava.2008.pdf

[14] http://web.elchemco.cz/text_201.php

[15] http://www.imaterialy.cz/Materialy/Plasty-pro-stavebnictvi-aarchitekturu-8-Silikony.html

[16] http://web.elchemco.cz/sylgard-517-dow-corning.php

[17] http://web.elchemco.cz/silikonovy-dvouslozkovy-kaucuk-pro-zalevani-v-elektronice-sylgard-170-dow-corning.php

[18] http://web.elchemco.cz/krystalove-ciry-silikon-dvouslozkovy-kaucuk-pro-zalevani-v-elektronice-sylgard-182-184.php

[19] http://www.lucebni.cz/data/File/lukopren/Lukopren-N-MT-G-katalyzator/Prospekty/Lukopren%20N.pdf

[20] http://web.elchemco.cz/866EX.php

[21] http://www.lucebni.cz/data/File/lukopren/Lukopren-S-UNI-T/Prospekty/Lukopren%20S%203782.pdf

[22] http://web.elchemco.cz/3140EX.php

[23] http://web.elchemco.cz/36548EX.php

[24] http://www.lucebni.cz/data/File/lukosiol/Prospekty/Lukosiol.pdf

[25] http://www.lucebni.cz/data/File/lukosiol/Prospekty/Lukosiol.pdf

[26] http://web.elchemco.cz/plastic-seal.php

[27] http://www.lucebni.cz/data/File/lukosil/Prospekty/Lukosil.pdf

[28] http://www.lucebni.cz/data/File/lukosil/Prospekty/Lukosil.pdf

[29] http://www4.dowcorning.com/DataFiles/090007c8802d7b94.pdf

[31] http://www.gdpkoral.cz/UserFiles/File/PDF-design-manual/kompozity.pdf

[32] http://www.google.cz/url?sa=t&rct=j&q=vlaknove%20kompozitni%20material%20pouziti&source=web&cd=7&ved=0CGAQFjAG&url=http%3A%2F%2Fime.fme.vutbr.cz%2FFiles%2FVyuka%2FBUM%2F11-BUM.ppt&ei=tXOpT4qeC43OsgbkhqWmBQ&usg=AFQjCNH9Q4dInag7_hhhhu3iyep6q-bOig

Evidenční list

Souhlasím s tím, aby moje diplomová práce byla půjčována k prezenčnímu studiu v Univerzitní knihovně ZČU v Plzni.

Datum: Podpis:

Uživatel stvrzuje svým čitelným podpisem, že tuto bakalářskou práci použil ke studijním účelům a prohlašuje, že ji uvede mezi použitými prameny.

Jméno	Fakulta/katedra	Datum	Podpis