

Otiskovací hmoty

Pavel Bradna, Antonín Tichý

pavel.bradna@lf1.cuni.cz, antonin.tichy@lf1.cuni.cz

Ústav lékařské biochemie a laboratorní diagnostiky,
Stomatologická klinika

1. lékařská fakulta, Karlova Univerzita, Praha, Česká republika

Praha, 2022

Účel:

K přípravě přesné repliky - modelů situace v ústní dutině

Model je připravován ve dvou krocích:

Krok 1. Zhotovení negativu - otisku situace v ústech

Krok 2. Zhotovení přesného odlitku odlitím modelovým materiálem



Všeobecné požadavky na otiskovací hmoty:

Před vlastním otiskováním:

1. Snadná příprava, vhodné tokové vlastnosti (pseudoplasticita nebo thixotropie)
2. Smáčivost vlhkých povrchů (hydrofilita)
3. Rychlé tuhnutí (tj. rychlý přechod z plastického - tvárného stavu do tuhého/elastického) do cca 5-7 min od začátku míchání
4. Netoxičnost, nedráždivost, bez nepříjemné chuti a zápachu

Všeobecné požadavky na otiskovací hmoty:

Po ztuhnutí:

1. Elastické vlastnosti, rozměrová stabilita
2. Odolnost mechanickému zatížení
3. Přesnost a dokonalá reprodukce detailů (25-50 μm)
4. Kompatibilita s modelovými materiály
5. Odolnost desinfekčním látkám

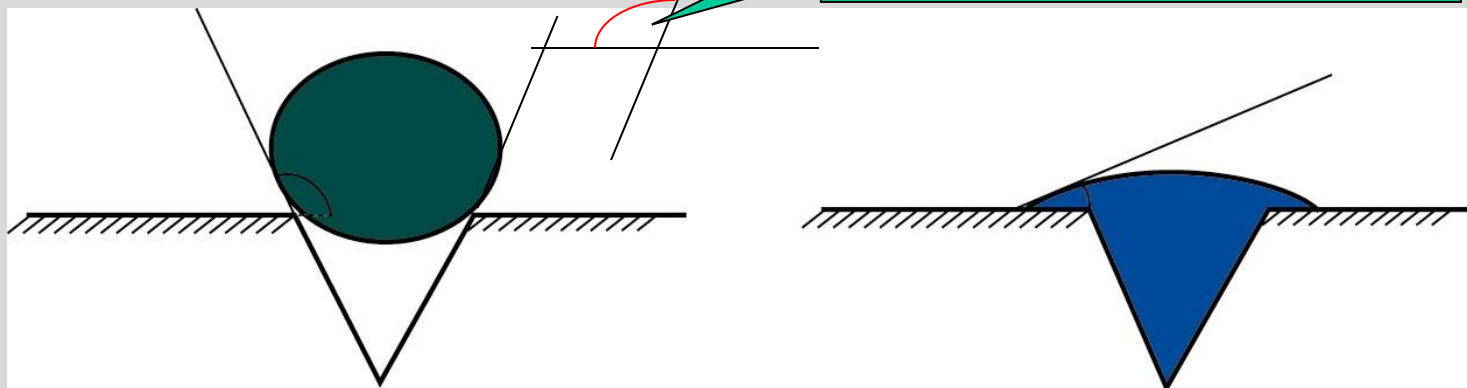
Důležité pojmy

- Hydrofilní/hydrofobní
- Pseudoplasticita/thixotropie
- Elastická-pružná/plastická (trvalá, nevratná) deformace
- Pevnost
- Doba zpracovatelnosti
- Doba tuhnutí

Vlastnosti otiskovacích hmot před ztuhnutím

1. Hydrofilní/hydrofobní

Kontaktní/smáčecí
úhel α



Hydrofobní materiál
($\alpha > 90^\circ$)

nesmáčí vlhké povrchy

Nekopíruje přesně vlhké
povrchy

Hydrofilní materiál
($\alpha < 90^\circ$)

smáčí vlhké povrchy

Dokonale kopíruje vlhké
povrchy

2. Pseudoplasticita/tixotropie

(„smykové řídnutí“)

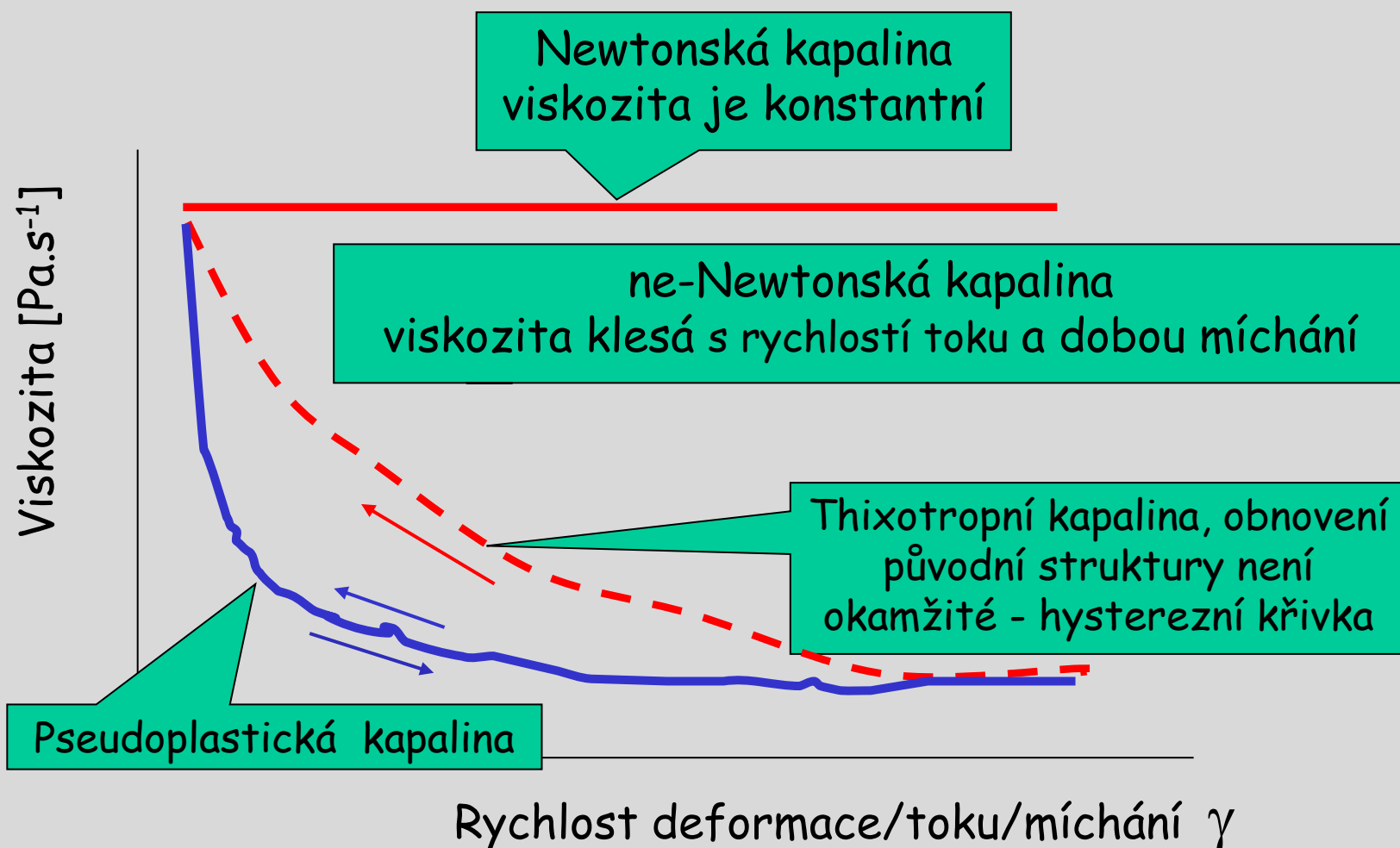
Rozporuplné požadavky na:

snadnou zatékavost (nízká viskozita)

nestékavost (vysoká viskozita)

stabilitu suspenze (vysoká viskozita)

Pokles viskozity s rychlostí toku - míchání, třepání, obecně se smykovou deformací - **snížení síly potřebné k toku-proudění tekutin**



Proudění nestlačitelných kapalin:

Poiseuillův zákon:

$$\Delta P = 8 \cdot \eta \cdot L \cdot Q / \pi r^4$$

Kde:

- ΔP je tlakový spád (rozdíl tlaků potřebný k „vytlačování“ kapaliny objemovou rychlostí Q [ml/min])
- η je viskozita kapaliny
- L je délka kapiláry (délka kanálku mezi otiskovací lžící a zubními tkáněmi, kterým otiskovací hmota proudí ven ze lžíce)
- r je poloměr kapiláry (šířka kanálku mezi otiskovací lžící a zubními tkáněmi, kterým otiskovací hmota proudí ven ze lžíce)

Tlak

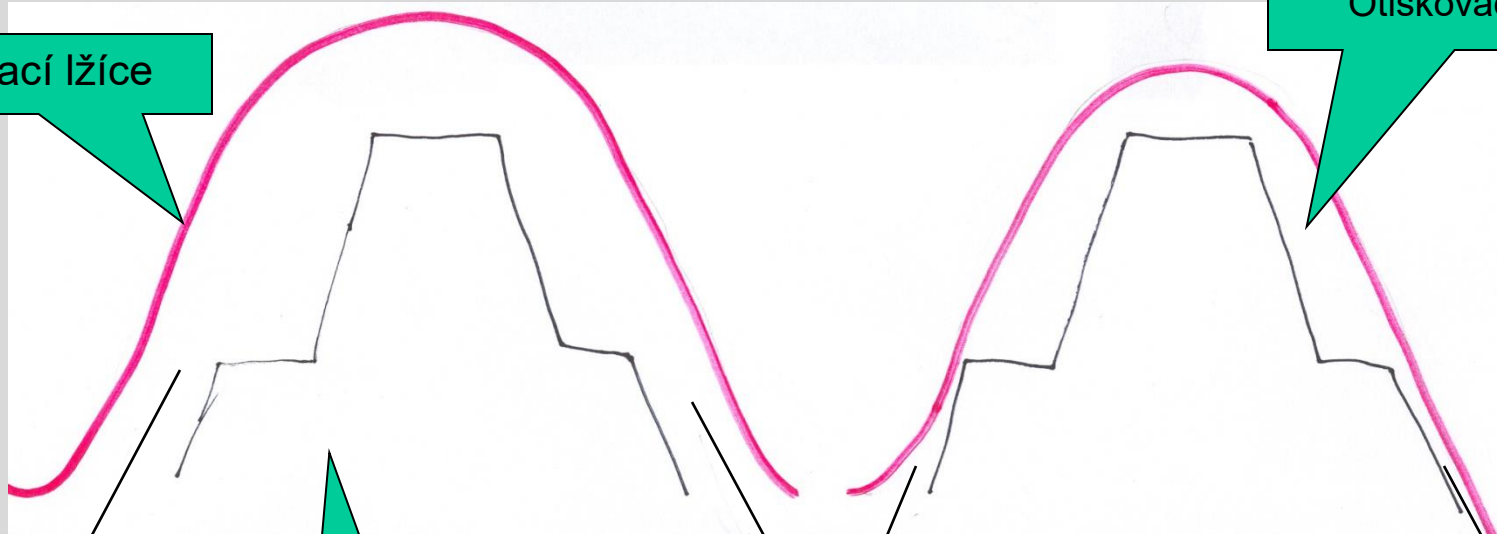


Tlak



Otiskovací lžíce

Otiskovací hmota



Široká štěrbina
odtok otiskovací
hmoty při malém
tlaku

Preparovaný zub

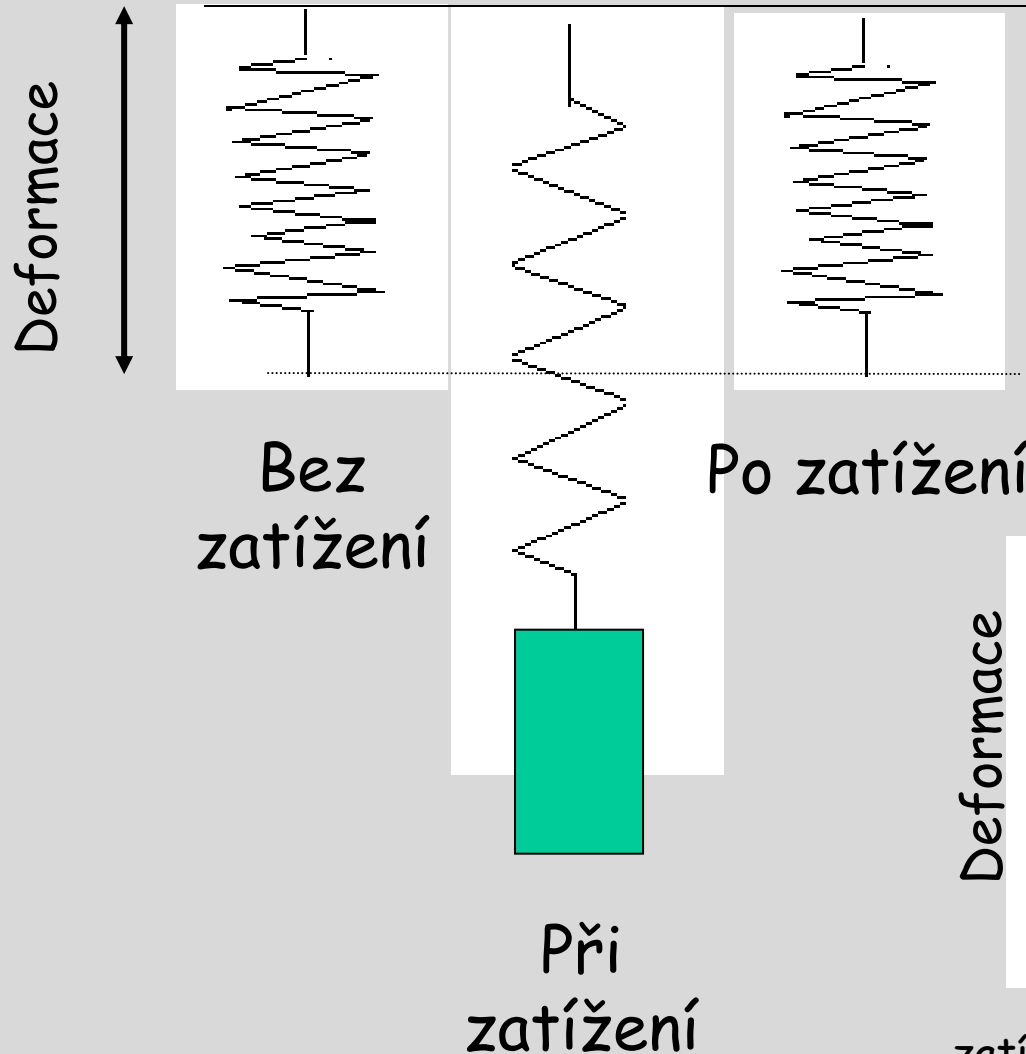
Zužující se mezera
– tlak na lžici
velmi rychle roste

Pseudoplasticita a
thixotropie snižují
potřebný tlak na
lžici

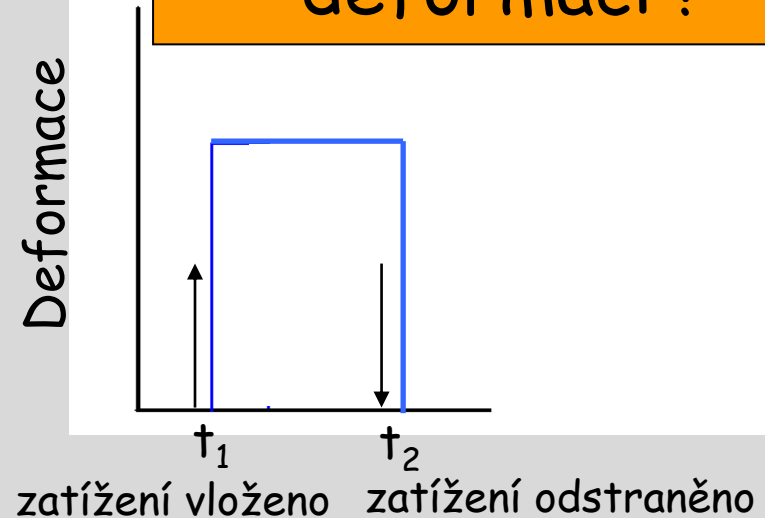
Vlastnosti otiskovacích hmot **po ztuhnutí**

1. Elastické - pružné chování

Pružina - ideálně elastické těleso (splňuje Hookův zákon)



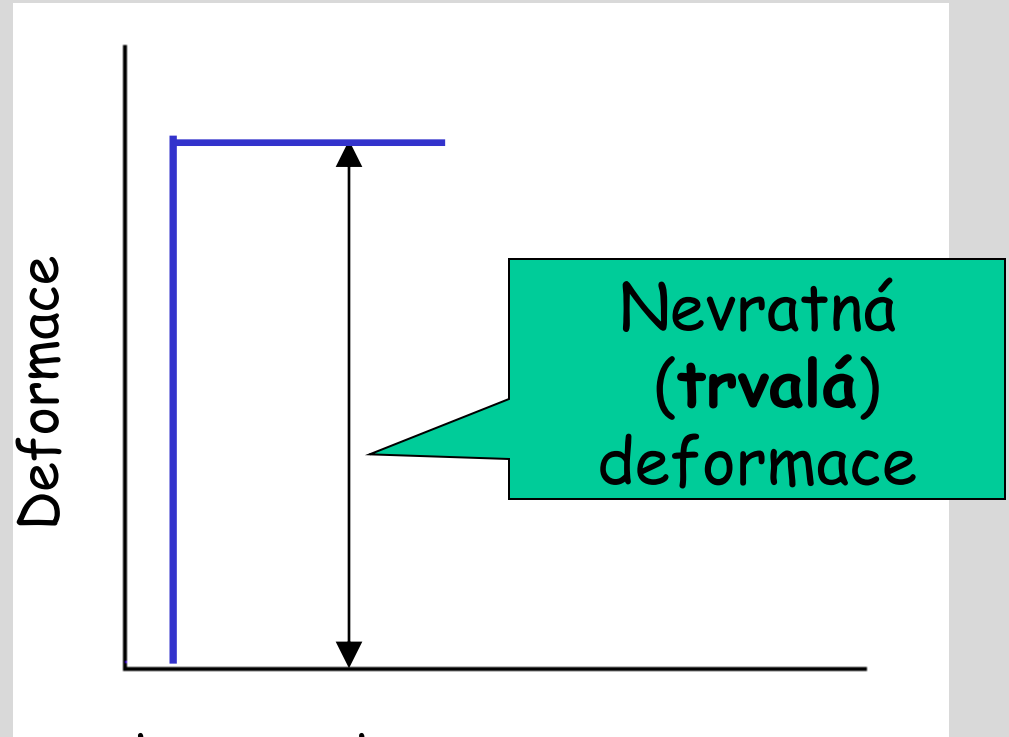
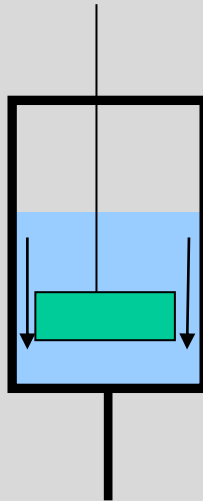
Po odstranění
zatížení - návrat
do výchozího
stavu
! úplné zotavení po
deformaci !



2. Plastické chování

Tlumič - pohyb tekutiny v nádobě s pístem - ideálně plastické/nevratné chování

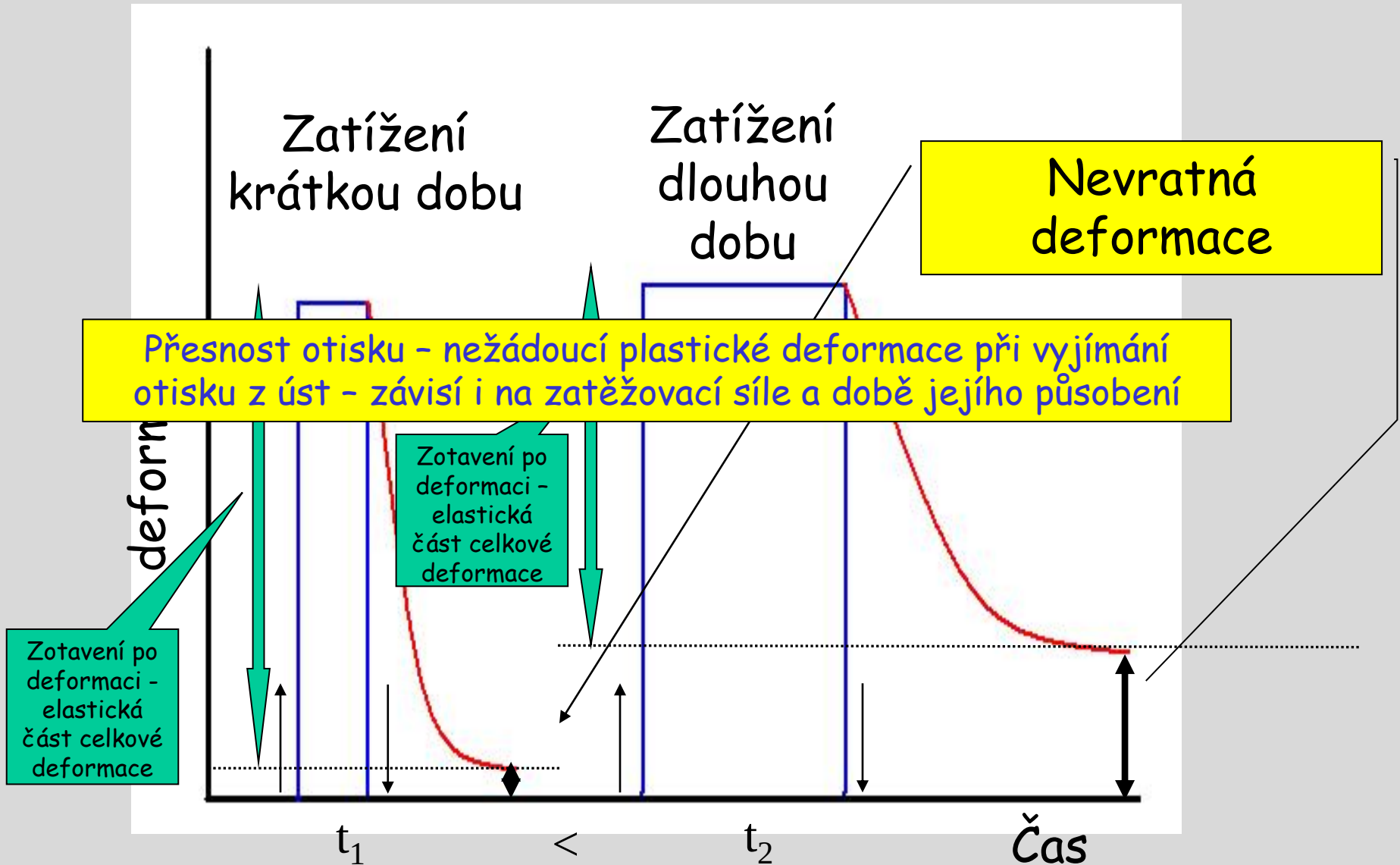
Plastická = nevratná
(trvalá) deformace



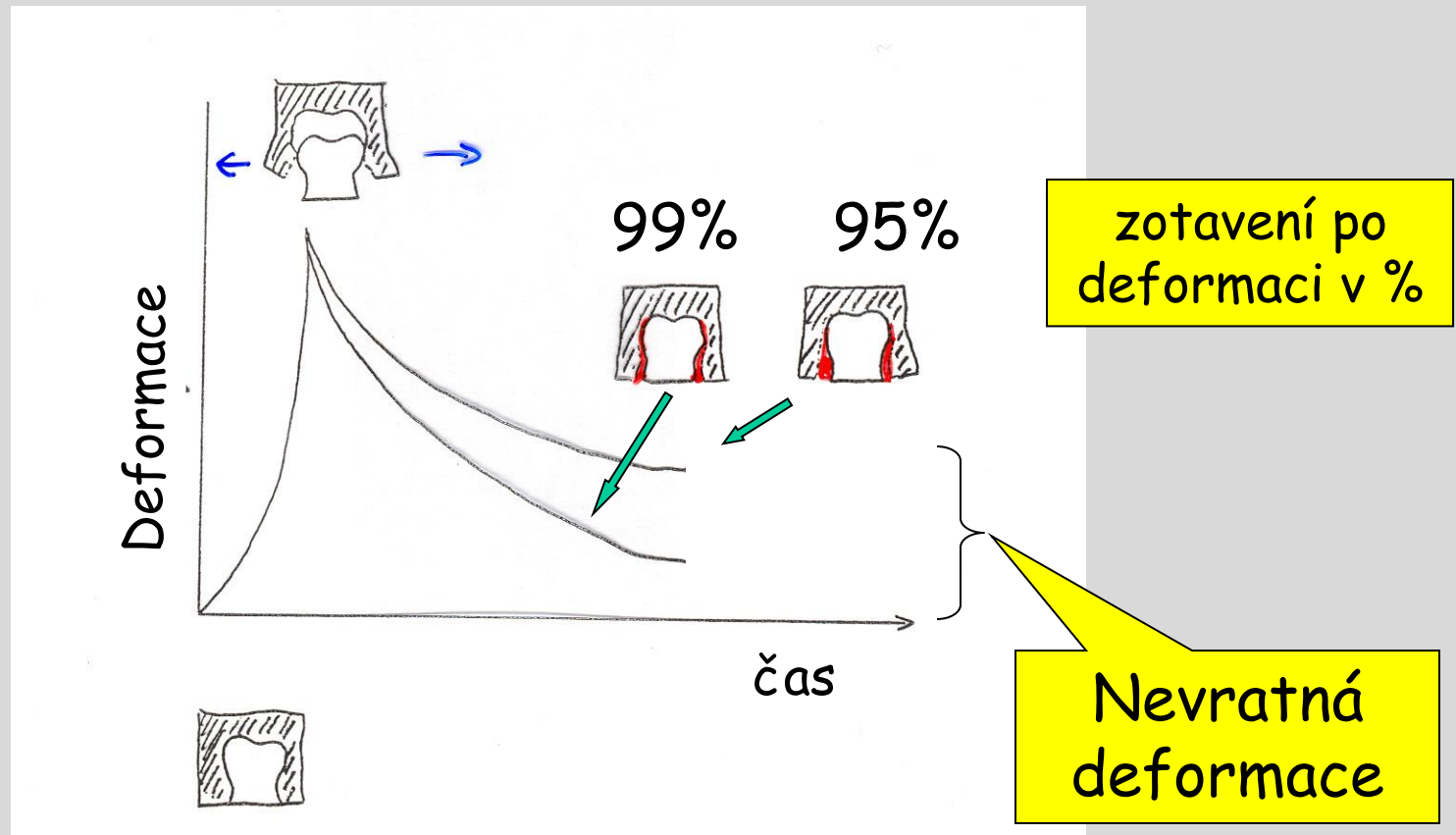
t_1
zatížení
vloženo oc

Po odstranění
zatížení
! žádné zotavení !

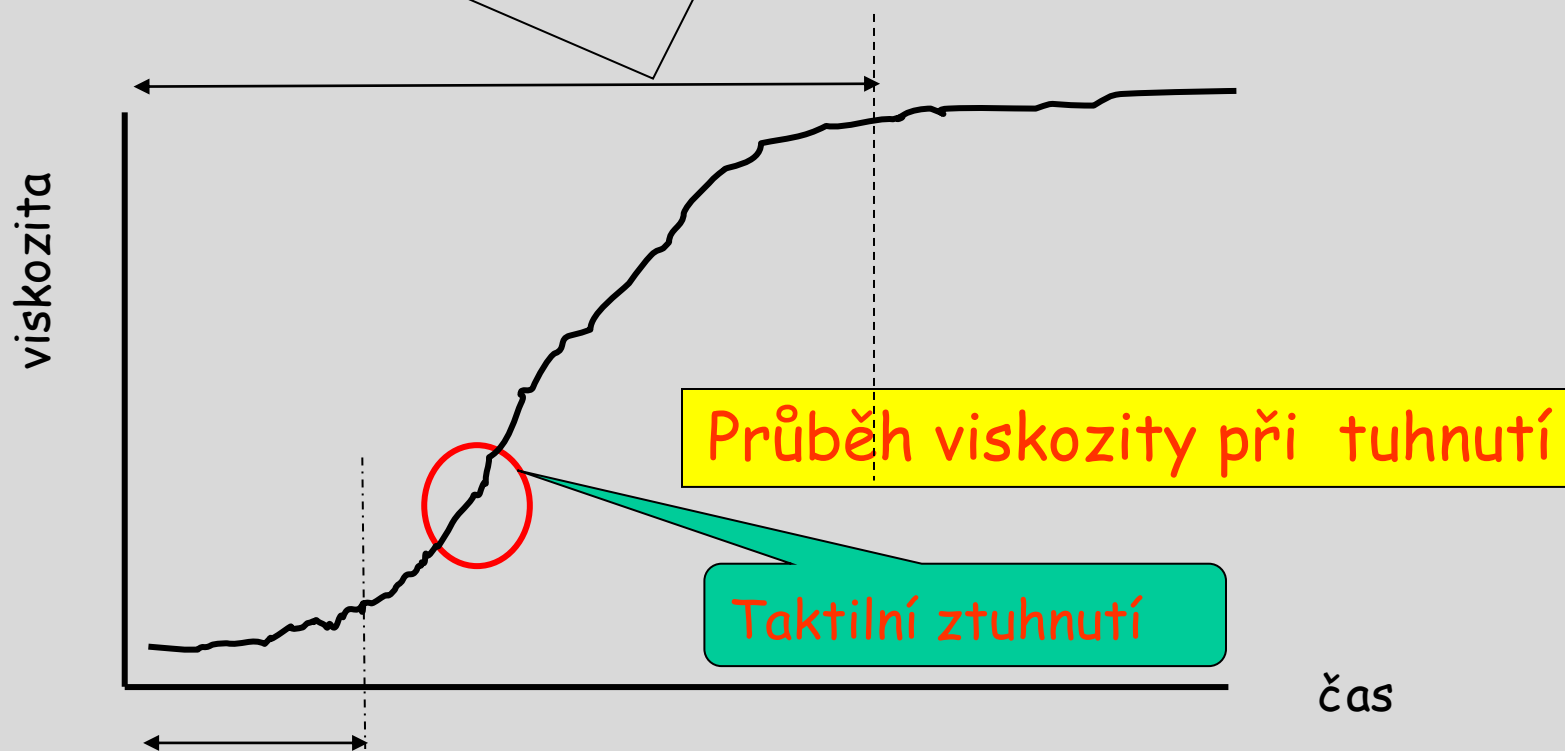
3. Otiskovací hmoty - kombinace elastického a plastického chování - VISKOELASTICKÉ chování



Vliv viskoelastických vlastností na přesnost modelu - zotavení po deformaci při vyjímání otisku z úst



Doba tuhnutí - časový interval od začátku míchání do doby, kdy je otiskovací hmota **dostatečně elastická**, aby vydržela zatížení při vyjímání otisku z úst **bez plastických deformací**



Doba zpracovatelnosti - časový interval od začátku míchání do doby, kdy **převažuje plastické chování** otiskovací hmoty (dokonale kopíruje povrch) bez elastických deformací

Rozdělení otiskovacích hmot

	Ireverzibilní	Reverzibilní*
Rigidní/neelastické (nepružné)	Otiskovací sádra Zinkoxid-eugenolové (ZOE)	Vosko- pryskyřičné hmoty
Elastické (pružné)	Alginátové Elastomerní: Polysulfidové Silikonové Polyéterové	Agarové otiskovací hmoty

*reverzibilita podle chování při zahřívání (termoplastické chování)

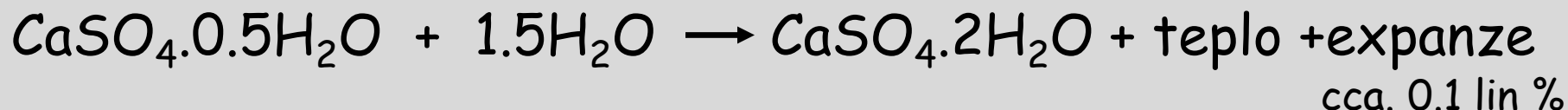
Rigidní otiskovací hmoty

A. Ireverzibilní

1. Otiskovací sádra

Hlavní indikace: otiskování bezzubých čelistí

Reakce tuhnutí:



Složení:

$\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$ β-hemihydrát

Síran draselný - snížení expanze, ale vede k urychlení průběhu tuhnutí

Borax - retardér k prodloužení doby tuhnutí

Křemelina, křemen, vápenec - zlepšuje lámavost (ostrý lom sádry)

Výhody:

1. Nízká cena, dlouhá skladovatelnost, snadná příprava

Nevýhody:

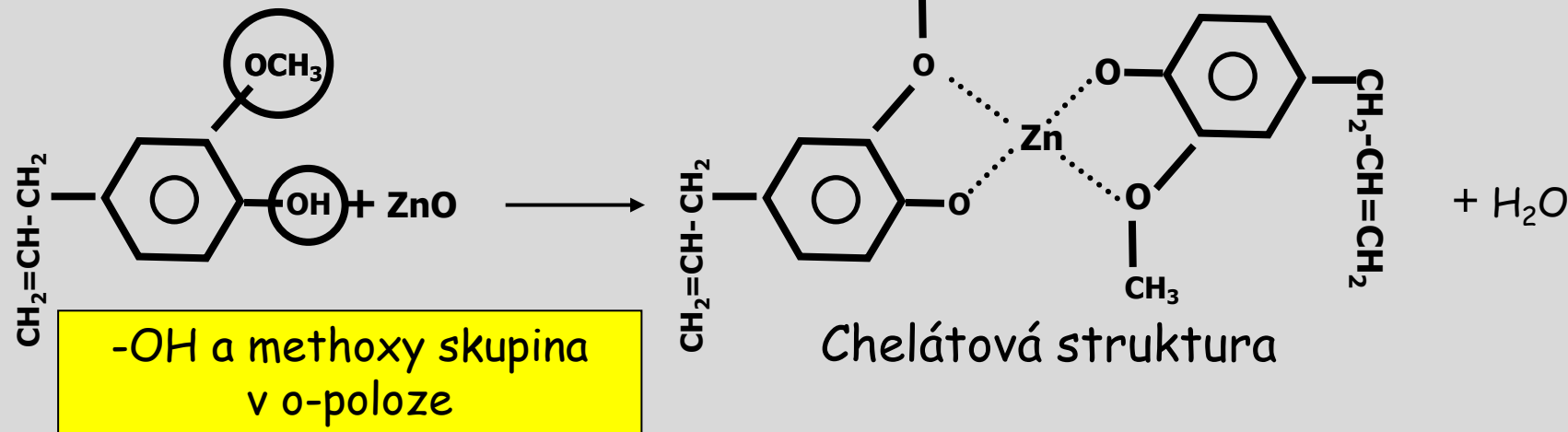
1. Velmi tuhá - často musí být rozlámána při vyjímání z úst
2. Obtížné snímání podsekřivých míst
3. Při rozlámání nutné úlomky slepit-ztráta přesnosti

Zastaralá - používaná jen zřídka

2. Zinkoxid-eugenolové (ZOE) otiskovací hmoty

Hlavní indikace: otiskování bezzubých čelistí

Reakce tuhnutí:



System pasta-pasta:

Pasta A - ZnO /minerální nebo rostlinný olej
(plastifikátor)

Pasta B - hřebíčkový olej s cca. 85 % eugenolu, nebo
čistý eugenol, pryskyřice, plniva,
akcelerátory

H_2O , kys. octová, octan Zn

Výhody:

1. Nízká viskozita - minimální riziko komprese měkkých tkání
2. Dobrá reprodukce detailu
3. Nízká cena

Nevýhody:

1. Nelze otiskovat podsekřivá místa
2. Někdy alergie na eugenol (o-ethoxy benzoová kys.
[EBA] jako náhrada eugenolu)

B. Reverzibilní

Vosko-pryskyřičné hmoty

(Kerrova, Stentova hmota, vosko-pryskyřičné hmoty)

Termoplastická hmota (změkne při zahřátí na 50°C a ztuhne při ochlazení) pro otiskování zejména bezzubých čelistí, otiskování jednotlivých zubů v měděném kroužku

Složení:

1. Pryskyřice (vosk, šelak, guttaperča)
2. Plnivo (talek)
3. Mazadla (stearová kyselina, stearin)

Výhody:

1. Možnost opakovaného použití
2. Nedráždivé a netoxické

Nevýhody:

1. Špatná rozměrová stabilita
2. Snadná deformace při vyjímání z úst

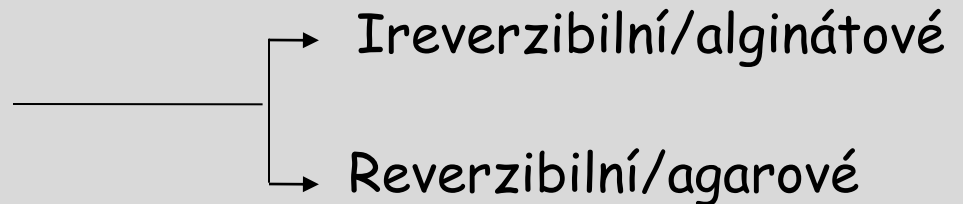
Zastaralá – používaná jen zřídka

Elastické otiskovací hmoty

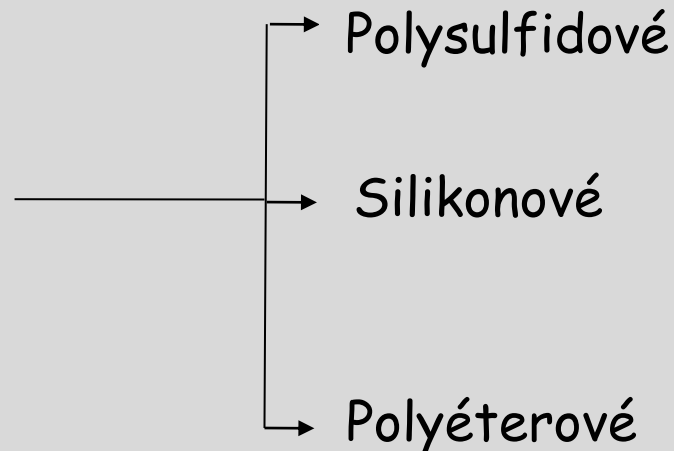
A. Hydrokoloidní otiskovací hmoty

B. Elastomerní otiskovací hmoty

Hydrokoloidní



Elastomerní (nevodné)
(ireverzibilní)



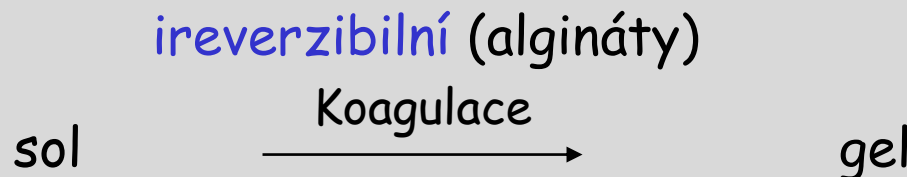
A. Hydrokoloidní otiskovací hmoty

Hydrokoloidy - koloidní systém (velikost částic do cca $0,5 \mu\text{m}$) s vodou jako disperzním prostředím

HYDROKOLOIDNÍ SOL se může změnit na tuhý GEL



Tuhnutí v důsledku vytváření mezimolekulárních H-můstků

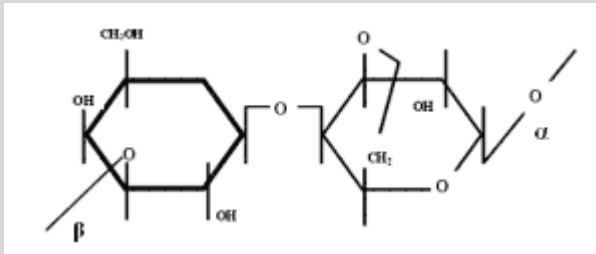


Tuhnutí za vzniku iontové vazby

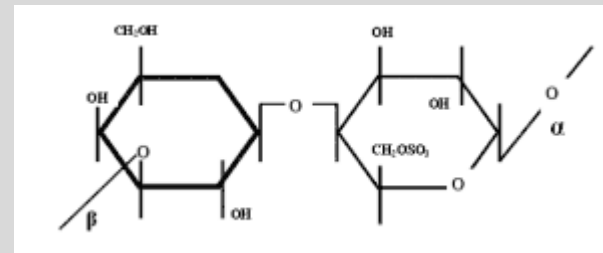
1. Reverzibilní hydrokoloidní hmoty

Agarové otiskovací hmoty

Tuhnutí - termoreverzibilní gelace roztoků přírodního polysacharidu - agaru (získávaného z mořských řas)



**Agaróza, silně gelující
neionogenní
polysacharid**



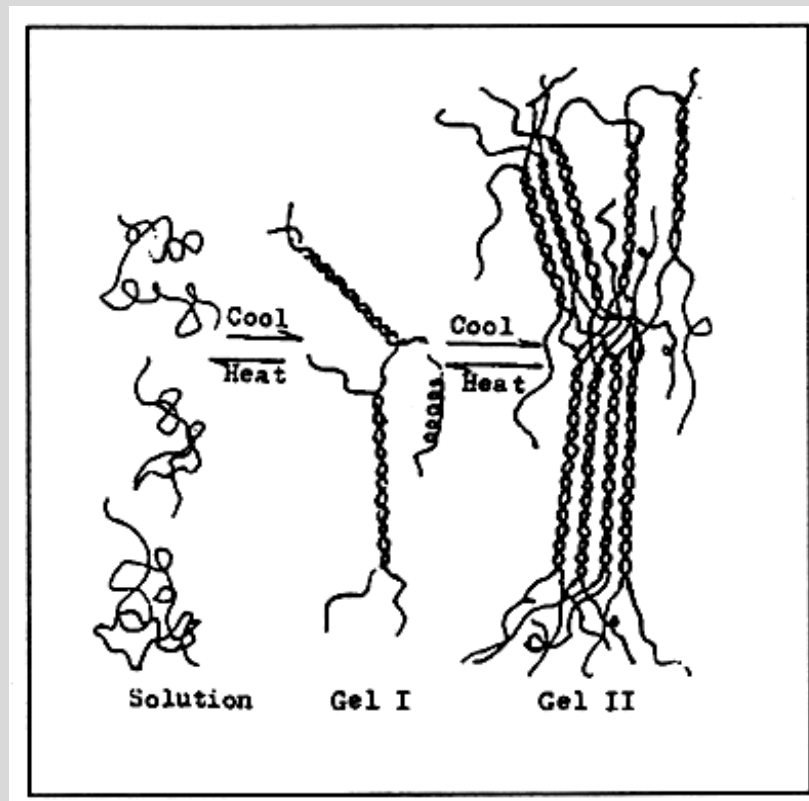
**Agaropektin, složitější
polysacharid nesoucí
sulfátové skupiny**

Negelující složka cca 20-30 % agaru

Gelace:

Agarové soly po ochlazení na 30 - 40°C gelují

Agarové gely zahřátím na 90 - 95°C tají za vzniku solu



Sol
Náhodná klubka

Gelace I
Dvojitá šroubovice

Gelace II agregace
šroubovic

Složení:

1. Agar
2. Borax - zvyšuje pevnost gelu
3. Síran draselný - zvyšuje tvrdost povrchu sádky
4. Voda - disperzní prostředí

Dodávány ve dvou formách - v tubách a stříkačkách



Základní výševiskozní
hmota



Naplněná otiskovací
lžíce chlazená vodou



Otiskovací hmota ve stříkačkách aplikovaná na preparované zuby



Termostatické lázně pro změkčení (100°C), temperování (65°C) a ochlazení hmoty ve lžíci při 45°C

Výhody:

1. Velmi dobrá biologická snášenlivost
2. Vynikající reprodukce detailů

Nevýhody:

1. Nutné speciální a nákladné vybavení (vodní lázně) a speciální lžíce
2. Rozměrově nestálé - odpařování vody a její sorpce - imbibice
3. Nízká pevnost a odolnost proti roztržení
4. Pomalejší průběh tuhnutí

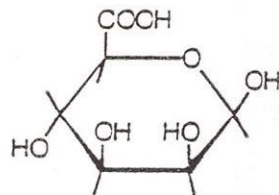
2. Ireverzibilní hydrokoloidní hmoty

Alginátové otiskovací hmoty

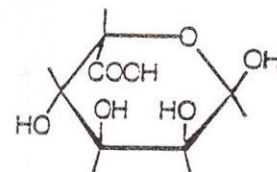
(Nejčastěji používaná otiskovací hmota)

Předběžné, studijní otisky, otisky v ortodoncii

Hlavní složka - soli Na^+ , K^+ kyseliny algové
(izolované z mořských řas)



β -D-mannuronic acid



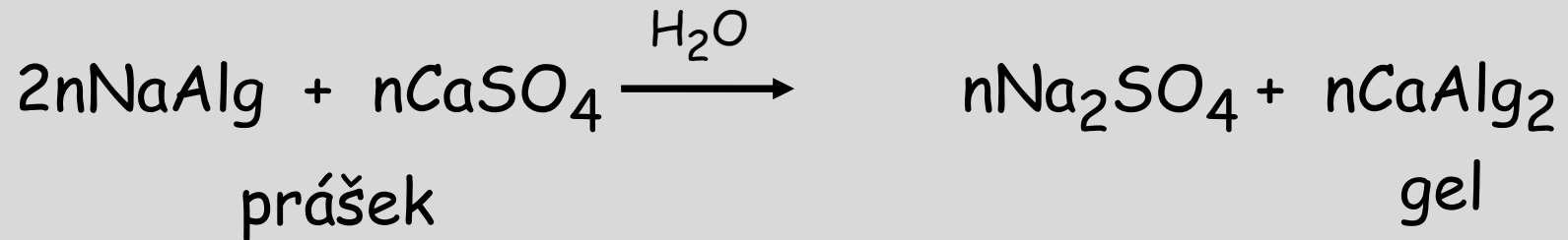
α -L-guluronic acid

Základní jednotky

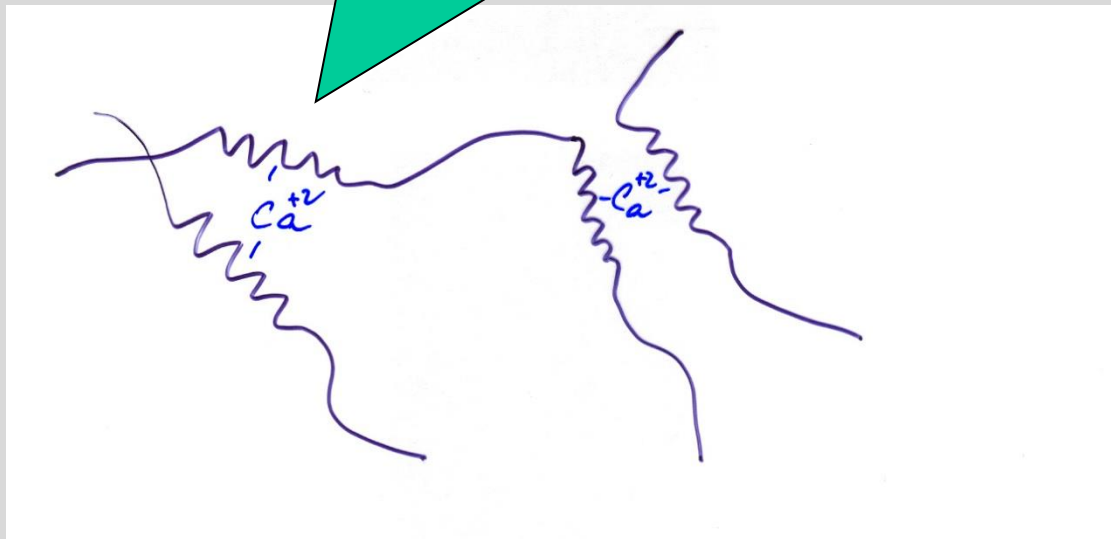
Řetězce alginátu $\bar{M} = 30 - 150\,000$

Po přidavku Ca^{+2} vytváří pevný gel

Reakce tuhnutí: začíná okamžitě po smíchání s vodou



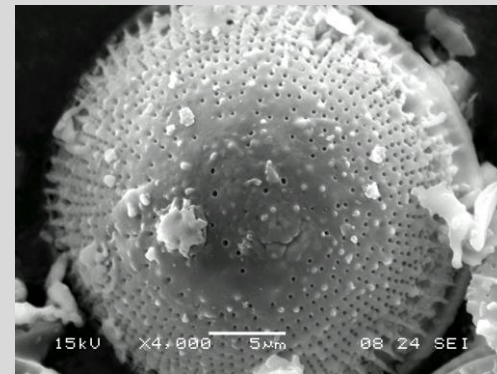
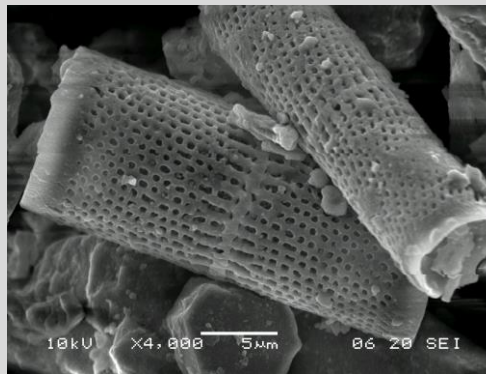
Bloky guluronové/manuronové
kyseliny



Zesíťovaná struktura alginátových gelů

Složení:

1. Na/K alginát
2. Síran vápenatý ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2 \text{H}_2\text{O}$)
3. Křemelina (amorfni SiO_2)
4. Retardéry/zpomalovače - fosfáty/hydrogenfosfáty-prodlužují dobu zpracovatelnosti (váží Ca ionty do nerozpustné soli)
$$2\text{Na}_3\text{PO}_4 + 3\text{CaSO}_4 \longrightarrow 3\text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$$
5. Urychlovač tuhnutí - K_2TiF_6
6. Aditiva - glykoly, parafinový olej - k aglomeraci částic SiO_2 pro dosažení bezprašnosti



Mísicí poměr prášek/voda cca 10 g/20 ml

Vlastnosti:

1. Reakce nastartuje po smíchání s vodou
2. Kontrakce v důsledku ztráty vody: 1. **Synerezí** - vylučování vody povrchem otisku (pokud otiskovací hmota obsahuje větší koncentrace Na solí vylučuje se roztok Na_2SO_4 - což snižuje kvalitu povrchu sádrového modelu)
2. **Odpařováním**
- z povrchu otisku (**vysychání otisku**)
3. **Imbibice nebo též sorpce** vody způsobující zvětšování (**bobtnání**) otisku
4. Možnost barevné indikace fází tuhnutí



Acido-bázické indikátory (např. fenolftalein/thymolftalein)

Výhody:

1. Velmi dobrá biologická snášenlivost
2. Snadná příprava a použití
3. Rychlý průběh tuhnutí
4. Nízká cena

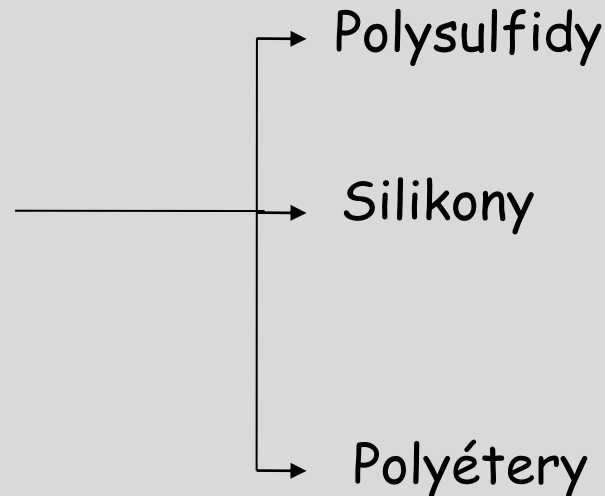
Nevýhody:

1. Horší rozměrová stabilita, menší mechanická odolnost a náchylnost k nevratným deformacím
2. Doba tuhnutí závisí na teplotě a tvrdosti vody
3. Ačkoliv je výrobci často doporučováno vylití otisků do až 100 hodin, je vhodné je zpracovat co nejdříve
4. U některých typů horší kvalita povrchu sádrového modelu

B. Elastomerní (nevodné) otiskovací hmoty

Syntetické polymery s kaučukovými vlastnostmi

Elastomery (nevodné)
(ireverzibilní)



Hlavní indikace

- otisky pro částečné náhrady (snímatelné)
- otisky pro fixní protetiku (korunky a můstky)
- otisky v implantologii

Obečné vlastnosti

V důsledku polymerační reakce dochází ke smrštění otiskovacích hmot

!! Vede ke ztrátě přesnosti otisku a sádrového modelu !!

Řešení

- a) náhrada části elastomerních prepolymerů plniv
(vede ke zvýšení viskozity a ztráty schopnosti reprodukovat detaily)
- b) otiskováním hmotami dvou různých viskozit
(s větším a menším obsahem plniv a elastomerních prepolymerů)

Postup otiskování

1. **silně viskózním „tmelem“** („putty“) s malým obsahem polymerních složek a nízkou kontrakcí - **velmi přesná „individuální otiskovací lžice“**

2. **nízkoviskózní** snadno zatékavou otiskovací hmotou (light, wash, korekční hmota) s vyšším obsahem polymerů a vyšší kontrakcí, avšak **aplikované pouze v tenké vrstvě**

Dodávány jako dvousložkové:

složka základní (base)

složka katalyzátorová (catalyst,
activator)

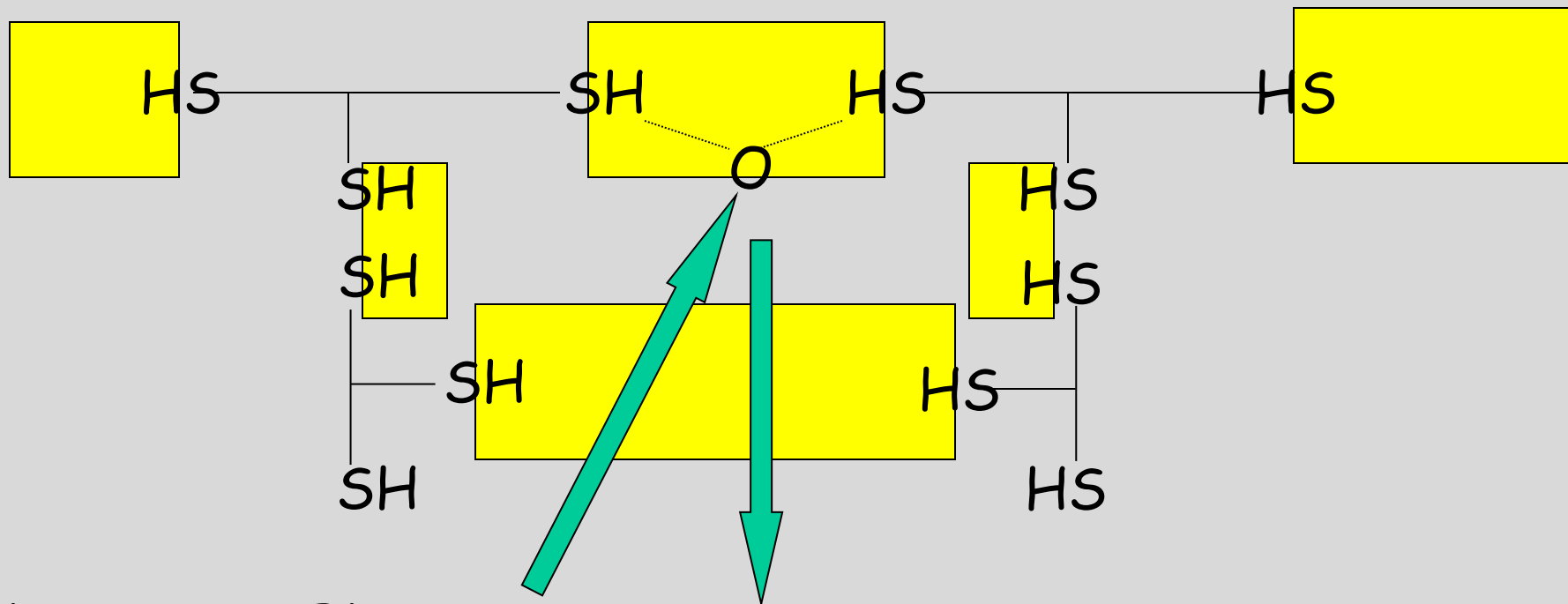
Polysulfidové otiskovací hmoty

(Thiokol rubbers, mercaptan rubbers)
První elastomerní otiskovací hmota

Tuhnutí - reakce mezi polysulfidovým polymerem obsahujícím volné merkaptanové (-SH) skupiny v přítomnosti oxidačního činidla PbO_2 . Dochází k prodlužování polymeru a sít'ování reakcí SH skupin.

Reakce tuhnutí:

Lineární polysulfidový prepolymer



Polymer zesíťovaný
disulfidickými
(-S-S-) vazbami

+ H_2O

Uvolňovaná voda
zvyšuje kontrakci

Složení:

Základní (**Base**) pasta:

1. Polysulfidový polymer
2. Plniva, plastifikátor

Katalyzátorová (**Catalyst**) pasta:

1. Oxid olovičitý, Cu-hydroxidové sloučeniny
v bezolovnatých materiálech, plniva
2. Inertní olej (např. dibutyl ftalát)

Výhody:

1. Nižší cena
2. Delší doba zpracovatelnosti

Nevýhody:

1. Nutné odlít během 0,5 - 1 hodiny
2. Oxid olovičitý je toxický
3. Nepříjemný pach merkaptanů
4. Delší doba tuhnutí až 10 min
5. Náchylný k nevratným deformacím - v důsledku menší síťové hustoty

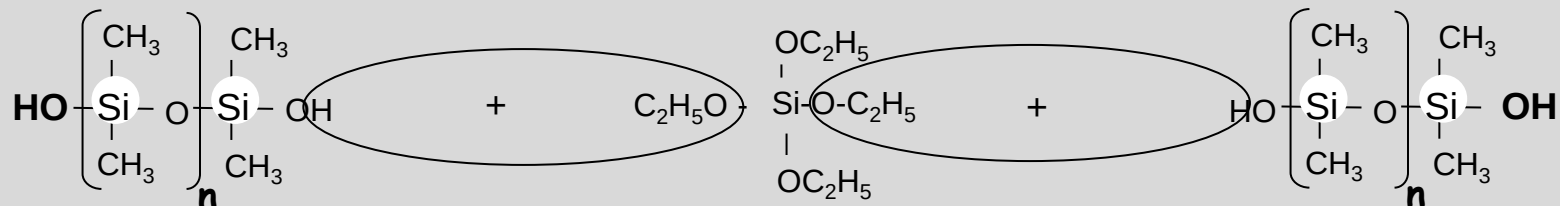
Málo používaný

Silikonové otiskovací hmoty

C-silikonové otiskovací hmoty (kondenzační silikony)

Tuhnutí - polykondenzační síťující reakce mezi koncovými OH skupinami polydimethylsiloxanového polymeru a tetraalkoxysilanu za přítomnosti dibutylcín dilaurátu (DBTD) jako „katalyzátoru“

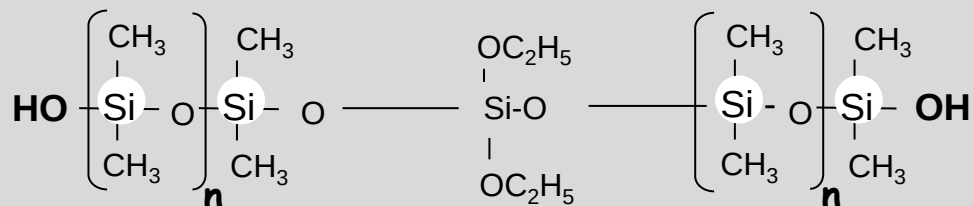
Reakce tuhnutí - polykondenzace



OH terminovaný
polydimethylsiloxa-
nový polymer

**Tetraalkoxysilan-sít'ovadlo
(tetraethoxysilan) plus
dibutylcín dilaurát -
katalyzátor**

OH terminovaný
polydimethylsiloxa-
nový polymer



+ 2C₂H₅OH

**Lineární polymer - reakcí dalších alkoxy
skupin - silně zesít'ovaný polymer**

Složení:

Základní (**Base**) pasta:

1. Hydroxyterminovaný polydimethylsiloxanový polymer
2. Plniva (kristobalit, talek, škroby)

Katalyzátor (**Catalyst**) kapalný nebo gelový:

1. Síťovadlo (např. tetraethoxy silan, TEOS) + katalyzátor (dibutylcín dilaurát, DBPT)
2. Gelotvorné látky, tenzidy (smáčedla)

Výhody:

1. Vysoká přesnost pokud je model odlit brzy
2. Velmi dobré zotavení po deformaci
3. Nižší cena

Nevýhody:

1. Hydrofobní - **byť snaha o zvýšení smáčivosti tenzidy**
2. Vyšší kontrakce - doba vylití by neměla přesáhnout 4 hodiny
3. Katalyzátor může vyvolávat alergické reakce
4. Obtížnější a méně přesné dávkování
5. Obvykle pouze v ručně mísitelné verzi

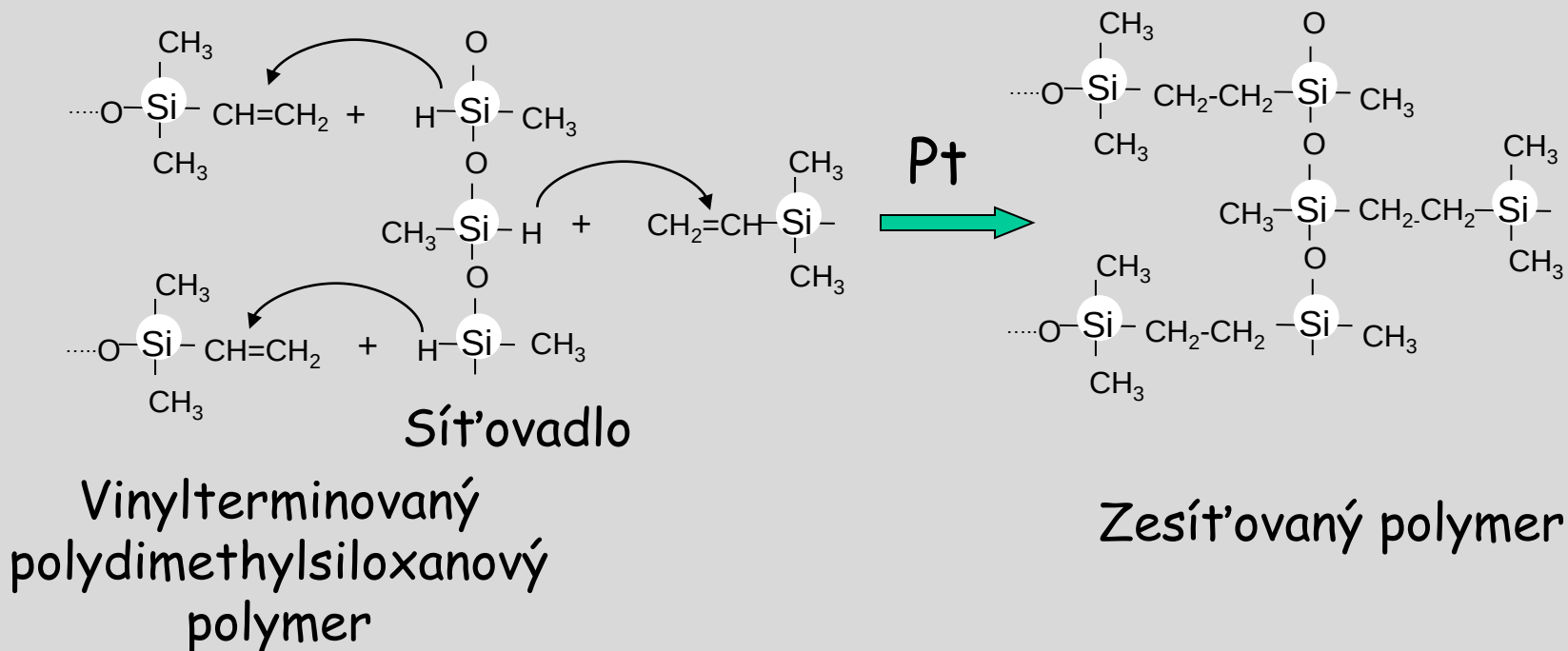
A-silikonové otiskovací hmoty

(adiční silikony, vinyl siloxany, poly(vinyl siloxany))

Otiskovací hmoty, dublovací hmoty,
rebazovací hmoty, hmoty pro registraci
skusu, kořenové sealery

Tuhnutí - reakce koncových vinylových skupin
polydimethylsiloxanového polymeru s
methylhydrogen silikonovým síťovadlem v přítomnosti
platinového katalyzátoru

Reakce tuhnutí - polyadice



Silné redukční účinky Pt mohou vést k uvolňování H_2 ze zbytkových molekul vody nebo $-OH$ skupin přítomných v reakční směsi, což může vést ke vzniku bublinek na povrchu sádrových modelů

Složení:

Základní (**Base**) pasta:

1. Vinylovými skupinami zakončený polydimethylsiloxanový polymer
2. Pt katalyzátor
3. Plniva (např. kristobalit, talek)
4. Surfaktanty (tj. hydrofilizační přísady)

Katalyzátorová (**Catalyst**) pasta:

1. Vinylovými skupinami zakončený polydimethylsiloxanový polymer
2. Síťovadlo
3. Plniva, dimethylsilikonový olej (k nastavení viskozity např. u dublovacích materiálů)

Výhody: (téměř ideální otiskovací hmota)_

1. Vysoká přesnost, velmi malá kontrakce
2. Výborná reprodukce detailů
3. Vysoká elasticita
4. Výborné zotavení po deformaci
5. Rozměrová stabilita
6. Netoxické a nedráždivé

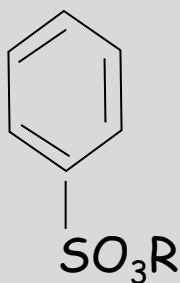
Nevýhody:

1. Hydrofobní - nutné přidávat surfaktanty
2. Tuhnutí je inhibováno látkami obsaženými v latexových rukavicích a adstringenty (síra, těžké kovy)
3. Uvolňování vodíku - bublinky na povrchu modelu - vylití až po cca 0,5-1 hodině
4. Vyšší cena

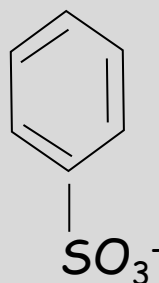
Polyetherové otiskovací hmoty

Tuhnutí - síťující kationtová polymerace
polyetherových řetězců nesoucích aziridinové kruhy
iniciovaná aromatickými estery sulfonové kyseliny

Iniciace:



alkylester
sulfonové kys.



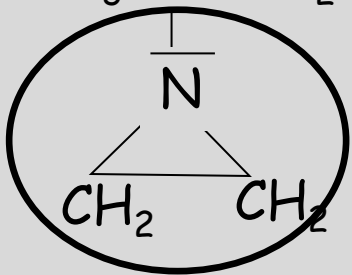
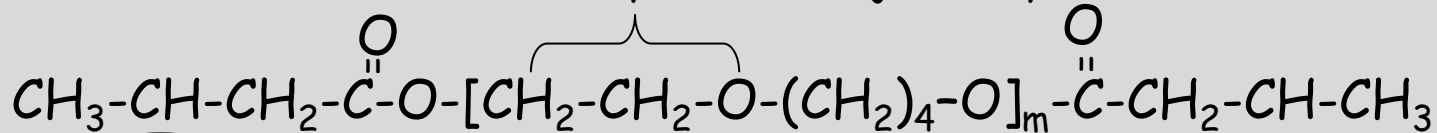
+ R⁺

Propagace:

Lineární polymer

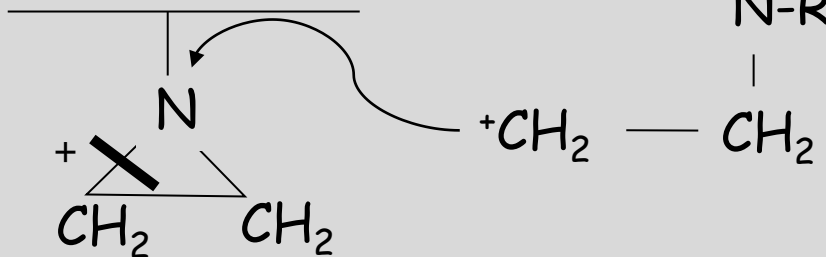
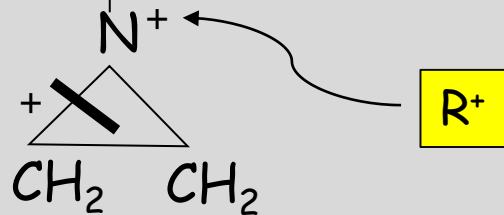
Zjednodušené schéma

Hydrofilní část (ethylenoxidové jednotky)



Aziridinový kruh

Otevření kruhu



Zesíťovaná štruktúra

Složení:

Základní (**Base**) pasta:

1. Polyetherový polymer
2. Plniva, plastifikátor

Katalyzátorová (**Catalyst**) pasta:

1. Ester kyseliny sulfonové
2. Inertní olej
3. Plniva

Výhody:

1. Přirozená hydrofilita
2. Přesnost a vysoká rozměrová stabilita
3. Výborné zotavení po deformaci - malé nevratné deformace
4. Nízká kontrakce
5. Výborná reprodukce detailů

Nevýhody:

1. Vyšší tuhost (obtížnější vyjímání z úst)
2. Vysoká cena
3. Estery sulfonové kyseliny mohou vyvolávat alergické reakce

Typické vlastnosti elastických otiskovacích hmot

Vlastnosť	Algináty	Agar	Polysulfidy	Polyether y	C-silikony	A-silikony
Počet složek	1	1	2 pasty	2 pasty	2 pasty Pasta/kapalina	2 pasty
Doba zpracovatelnosti [min]	1.5	-	4-7	2-3	2-4	2-4
Doba tuhnutí [min]	3-4	~ 5 ¹	7-10	5-6	5-8	4-7
Kontrakce [lin %] po 24 h	0,5	0,2	0,4-0,5	0,2-0,3	0,2-1,0	0,01-0,2
Zotavení po deformaci [%]	96	98,8	94,5-96,9	98,3-99,0	97,2-99,6	99,0-99,9
Reprodukce detailů [μm]	50	25	25	25	25	25
Uvolňování vodíku	N	N	N	N	N	A
Kontaktní úhel [°]	Velmi nízký	Velmi nízký	82	50-60	98	30*-80
Relativní cena	velmi nízká	vysoká	nízká	velmi vysoká	nízká	vyšší

*Hydrofilní typy, ¹⁾ pro teplotu chladicí vody 18-21°C