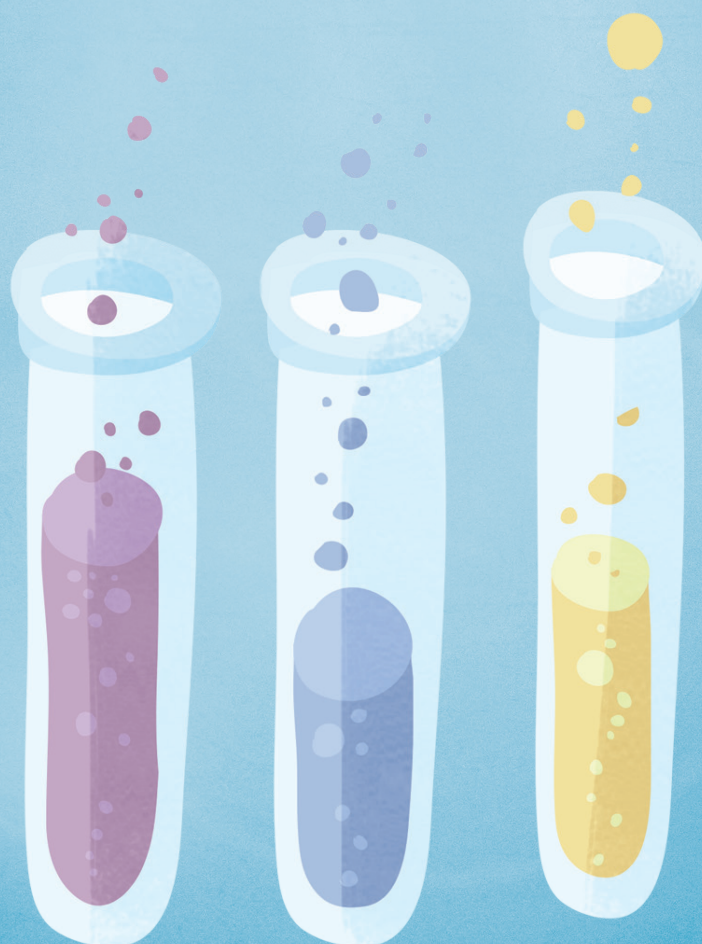


CHEMIE

# UŽITEČNÉ POLYMERY – NEKONEČNÉ SÍTĚ Z MALÝCH MOLEKUL



Akademie věd ČR hledá mladé vědce

**OTEVŘENÁ VĚDA**

AKADEMIE VĚD ČR



# Úvodní list

<b>Předmět:</b>	Chemie
<b>Cílová skupina:</b>	2–4. ročník čtyřletých gymnázií
<b>Délka trvání:</b>	2 x 45 min.
<b>Název hodiny:</b>	Užitečné polymery – nekonečné sítě z malých molekul
<b>Výukový celek:</b>	Polymerizace (organické molekuly, chemická kinetika, katalýza)
<b>Vzdělávací oblast v RVP:</b>	Člověk a příroda
<b>Průřezová témata:</b>	<p><u>Výchova k myšlení v evropských a globálních souvislostech</u> – Žák si uvědomí význam využívání znalostí načerpaných při výuce přírodovědných oborů i technických dovedností pro kvalitu života a zajišťování zdraví evropské i světové společnosti (aplikace hydrogelů v lékařství) a zároveň chápe smysl hlubšího poznávání a využívání přírodních zákonů člověkem. Pochopení experimentu učí systémovému myšlení a hledání a nalézání souvislostí mezi jevy a procesy.</p> <p><u>Environmentální výchova</u> – Rozvoj ekologického myšlení. Žák si uvědomuje jednak dopad lidské činnosti na své okolí a přírodu – při experimentu vzniká odpad, který však není škodlivý, přesto je vhodné vést rozhovor s žáky na téma „ekologické“ stopy experimentu (je dobře, že jako rozpouštědlo zde používáme vodu) a hlavně inertní monomer potažmo biokompatibilní polymer, některé materiály pro formu jsou recyklovatelné. Žák se učí rozlišit polymery a tím správného určení typu plastů v běžném životě a tak správnému třídění odpadu. Také vidí pracnost technické přípravy materiálu – odpovědné myšlení a vztah ke zdrojům planety.</p>
<b>Mezipředmětové vztahy:</b>	<p>Fyzika – určení skupenství reakční směsi a změny skupenství zreagováním; pozorování rozdílu mezi vzorky připravených gelů: bílý materiál – rozptyl světla z důvodu mikrostruktury, čirý materiál – optické vlastnosti vhodné pro využití gelu jako kontaktní čočky.</p> <p>Přírodopis – výskyt hydrogelů v přírodě, jejich funkce v rostlinné i živočišné říši.</p>
<b>Výukové metody:</b>	Výklad, učitelský experiment, heuristický rozhovor, žákovský experiment, práce s textem, samostatná práce.



<b>Organizační formy výuky:</b>	Skupinová, frontální.
<b>Vstupní předpoklady:</b>	Žák rozumí pojmu polymer a makromolekula i pojmu gel/hydrogel. Dovede popsat vzhled a charakter gelů vlastními slovy a uvést příklady takových hmot v přírodě nebo v domácnosti. Žák chápe pojmy chemická vazba a rozlišuje kovalentní a fyzikální vazby, rozumí pojům katalyzátor, rozpouštění, difúze, chápe, že dvojně vazby v malých organických molekulách – monomerech – se mohou navzájem propojovat chemickou reakcí a vytvářet velké molekuly – makromolekuly. Žák zná příklady takových makromolekulárních materiálů ze svého okolí, dovede je popsat a vysvětlit jakou mají funkci.
<b>Očekávané výstupy:</b>	Žák porozumí změnám doprovázejícím vznik chemických vazeb a potažmo velkých molekul, pochopí vliv molekulové struktury látek na jejich vlastnosti jako např. pevnost a osvojí si analogii mezi daným syntetickým materiálem a přírodou. Porozumí vlivu molekulové struktury na mikrostrukturu připraveného materiálu a vlivu mikrostruktury na makroskopický vzhled vzorku. Dokáže zreprodukovat předvedenou experimentální přípravu syntetického gelu a zhodnotit důležitost dodržení přesného postupu. Vlastními slovy popisuje princip spojování malých molekul do polymerních řetězců, hovoří o původu surovin a analogických materiálech, které mohou být nalezeny v přírodě.
<b>Výukové cíle:</b>	Žák se seznámí s neobvyklým materiálem, který dokáže připravit sám. Seznámí se názorně s procesem radikálové polymerizace. Dovede podle laboratorního předpisu přesně, pečlivě a čistě odměřit a navážit požadovaná množství složek, dokáže pracovat s chemickým sklem a přesnými váhami, zvládne manuální dovednost – sestavení jednoduché formy na polymerizaci gelu podle písemného návodu s ilustrací a provede experiment. Žák umí pracovat ve skupině a koordinovat jednotlivé kroky postupu s členy skupiny.
<b>Klíčové kompetence:</b>	<u>Kompetence k učení:</u> Žák se učí propojovat technické a vědecké poznatky s vlastním pozorováním přírody a všeobecnými znalostmi a učí se nalézat analogie mezi vznikem a chováním syntetického a přírodního gelu. Také se učí manuálně pracovat s přesnými množstvími a promýšlet kroky experimentu dopředu. <u>Kompetence k řešení problémů:</u> Žák se učí jemnému zacházení s laboratorním sklem, používá správně pomůcky a zjišťuje, jaké funkce plní speciální tvary laboratorních nádobek, a správně používá technické pomůcky (pipetky, pinzety, lodičku, váženku) – a učí se předvídat souvislosti mezi průběhem pokusu a působení okolního prostředí (jako např. vliv okolní teploty, kontaminace chemikálií, čistota skla). Učí se pracovat čistě, neplýtvat materiálem a vodou a učí se správnému sledu kroků vedoucích k úspěšné přípravě vzorků. Žák se učí pracovat podle odborného textu (laboratorní návod).



**Kompetence komunikativní:** Žák se učí úsporně a přesně vyjadřovat, koordinovat svou práci s ostatními ve skupince, s nimiž při komunikaci používá správné odborné termíny (iniciátor, katalyzátor, monomer, polymer, atd.). Žák se učí zaznamenat písemně srozumitelně a přehledně průběh experimentu (může být součástí zadání vytvořit jednoduchý laboratorní protokol).

**Kompetence sociální a personální:** Žák se učí metodické a koordinované práci ve skupině. Žák se sebehodnotí – hodnotí vlastní práci stejně jako práci svých spolužáků ve skupince a hodnotí úspěšné provedení experimentu a případně identifikuje, kde došlo k chybě. Žák je veden k přiměřenému kritickému posouzení práce svých spolužáků.

**Kompetence občanské:** Žák se učí vážit si pomoci spolužáka a výsledku práce spolužáka. V širším rámci se dozvídá o živé problematice polymerních materiálů a jejich významu pro život naší společnosti, ale také o rizicích, která jsou důsledkem nesprávného zacházení s polymerními materiály (především obaly) a o významu recyklace, nebo znovupoužití pro společnost i planetu.

**Kompetence pracovní:** Žák se učí trpělivosti, čistotě, pečlivosti, přesnosti a bystrosti při provádění experimentu. Učí se nenechat se odradit neúspěšně provedeným pokusem a zjistit pravděpodobnou příčinu neúspěchu.

**Formy a prostředky hodnocení:**

Slovní hodnocení průběžné i závěrečné, sebehodnocení, zpětná vazba.

**Kritéria hodnocení:**

Splnění stanovených cílů – úspěšně připravený vzorek hydrogelu; spolupráce ve skupinkách; komunikativní, manuální, technické a prezentační dovednosti žáka.

**Pomůcky:**

Laboratorní kit pro učitele.

monomer 1	2-hydroxyethylmethakrylát, HEMA	cca 5 ml
monomer 2	kyselina metakrylová, KM	cca 5 ml
monomer 3	etylénglykol dimetakrylát	cca 2 ml
iniciátor I	TEMED	
	tetrametylén diamin	2 ml
iniciátor II	peroxodisíran amonný	10 g
iniciátor III	peroxodisíran draselný	10 g
	fluorescein volná kyselina	2 g
forma	sklo – tabulové	13 x 13 cm / 2 kusy na formu
	silikonový vál 60 x 40 cm bez dezénu, hladký nebo jiný kaučukovitý materiál na těsnění formy	1
	klipy na papír – klip Binder 32 mm	6
ostatní	plastové pipety	
	stříčka plastová modrý uzávěr	
	baňka Erlenmayerova 25 ml se zábrusem a zátkou (užší zábrus)	4 ks
	lodička na vážení	2 ks



	stříkačka plastová 20 ml, 10 ml, 2 ml	vždy 2 kusy
	vykrajovátko kolečko V / 18 mm	
	Petriho misky malé	
	Petriho misky velké	
	váženky široké se zábrusovými víčky nebo jiné vhodné uzavíratelné nádoby na botnání a skladování vzorků*	10 ks
	PE hadička, průměr 2 mm, tenkostěnná	
různé	alobal	
	pinzety ploché nerez	
	PE fólie potravinová smršťovací	
	lžičky chemické nerez	
	tyčinka míchací otavená	
	kuchyňské utěrky bílé	
	mikrovlnná trouba pro technické použití	není nutná
	mikroskop	není nutný
	nůžky	
	skalpel	
	dusík stlačený	



## Časový a obsahový plán výukového celku (2 x 45 min.)

### Název hodiny: Užitečné polymery – nekonečné sítě z malých molekul

#### První hodina

Čas (min.)	Struktura výuky	Činnost učitele	Činnost žáků	Organizační formy		Hodnocení	Pomůcky	Poznámka
				výuky	Výukové metody			
2	Zahájení	Pozdrav, oznámení průběhu hodiny, tématu hodiny a cíle hodiny	Pozdrav, pochopení cíle	Frontální Výklad	Zpětná vazba	Laboratorní pomůcky k experimentu	-	
5	Úvodní slovo k pokusu, cíle, provedení, organizace skupinek	Rozdává návody na pokus, pomůcky musejí být připraveny před začátkem hodiny; určuje vedoucí skupin	Vytvářejí skupinky tří až čtyř žáků	Frontální Samostatná práce ve skupinkách, pedagog průběžně kontroluje správnost plnění bodů	Slovní, zpětná vazba	Pracovní listy pro studenty	-	
10	Příprava forem	Pomáhá slovně žákům, vysvětluje funkci formy	Studenti se mohou dotazovat, dotázaní studenti odpovídají na dotazy	Frontální Výklad, heuristický rozhovor	Slovní, zpětná vazba	Tabule, křída/fixy	-	
20	Navažování složek a nalévání do forem	Vysvětluje, jak budou studenti zacházet s formou, popř. pomáhá s experimentem, radí	Žáci nalévají směsi do forem, označují formy, vyplňují pracovní list	Frontální, párová, individuální Heuristický rozhovor, učitelský experiment, žákovský experiment Práce s textem	Slovní, zpětná vazba	Tabule, pomůcky na experiment, pracovní listy pro studenty	-	
5	Ukončení experimentu a zadané práce	Úklid pomůcek, uložení formy s obsahem na bezpečné místo, krátká informace o pokračování experimentu v příští hodině, vyhodnocení odpovědí na zadané otázky	Úklid pomůcek, sdělování odpovědí na zadané otázky	Rozhovor Frontální	Slovní	-	-	
3	Shrnutí, ukončení hodiny	Zopakování nejzásadnějších poznatků z hodiny, dotazy na žáky	Odpovědi na dotazy vyučujícího	Rozhovor Frontální	Slovní	-	-	

**Druhá hodina**

Čas (min.)	Struktura výuky	Činnost učitele	Činnost žáků	Organizační formy		Hodnocení	Pomůcky	Poznámka
				výuky	Výukové metody			
2	Zahájení	Pozdrav, oznámení průběhu hodiny, tématu hodiny a cíle hodiny	Pozdrav, pochopení cíle	Frontální Výklad	Zpětná vazba	Laboratorní pomůcky k experimentu, pracovní listy pro studenty	-	
5	Opakování, stručné shrnutí experimentu, slovo k pokračování experimentu, cíle, organizace skupinek	Vyzve žáky k seskupení do stejných skupinek jako předchozí hodinu, komentují výsledek pokusu podle obsahu forem, vždy pro ostatní žáky	Vytvářejí skupinky tří až čtyř žáků	Frontální Heuristický rozhovor, individuální	Slovní, zpětná vazba	Laboratorní pomůcky k experimentu, pracovní listy pro studenty	-	
10	Otevírání forem	Pomáhá slovně žákům, vysvětluje funkci formy, upozorňuje na problémy při vyjímání vzorku	Studenti se mohou dotazovat; dotázaní studenti odpovídají na dotazy	Frontální Výklad, heuristický rozhovor	Slovní, zpětná vazba	Laboratorní pomůcky, pracovní listy pro studenty	-	
20	Zhotovení tělísek z destiček polymerů	Pomáhá s experimentem, radí	Dotázaní žáci odpovídají na dotazy; zhotovují tělíska, zapisují údaje o vzhledu vzorku	Frontální, párová, individuální Heuristický rozhovor, učitelský experiment, žákovský experiment Práce s textem	Slovní, zpětná vazba	Tabule, pomůcky na experiment, pracovní listy pro studenty	-	
5	Ukončení experimentu a zadané práce	Uklid pomůcek, uklid pracovního místa, uložení vzorků, vyhodnocení odpovědí na zadané otázky	Uklid pomůcek, sdělování odpovědí na zadané otázky	Rozhovor Frontální	Slovní	-	-	
3	Shrnutí, ukončení hodiny	Zopakování nejdůležitějších poznatků z hodiny, dotazy na žáky	Odpovědi na dotazy vyučujícího	Rozhovor Frontální	Slovní	-	-	



## Pracovní list pro studenta

**Název: Užitečné polymery – nekonečné sítě z malých molekul**

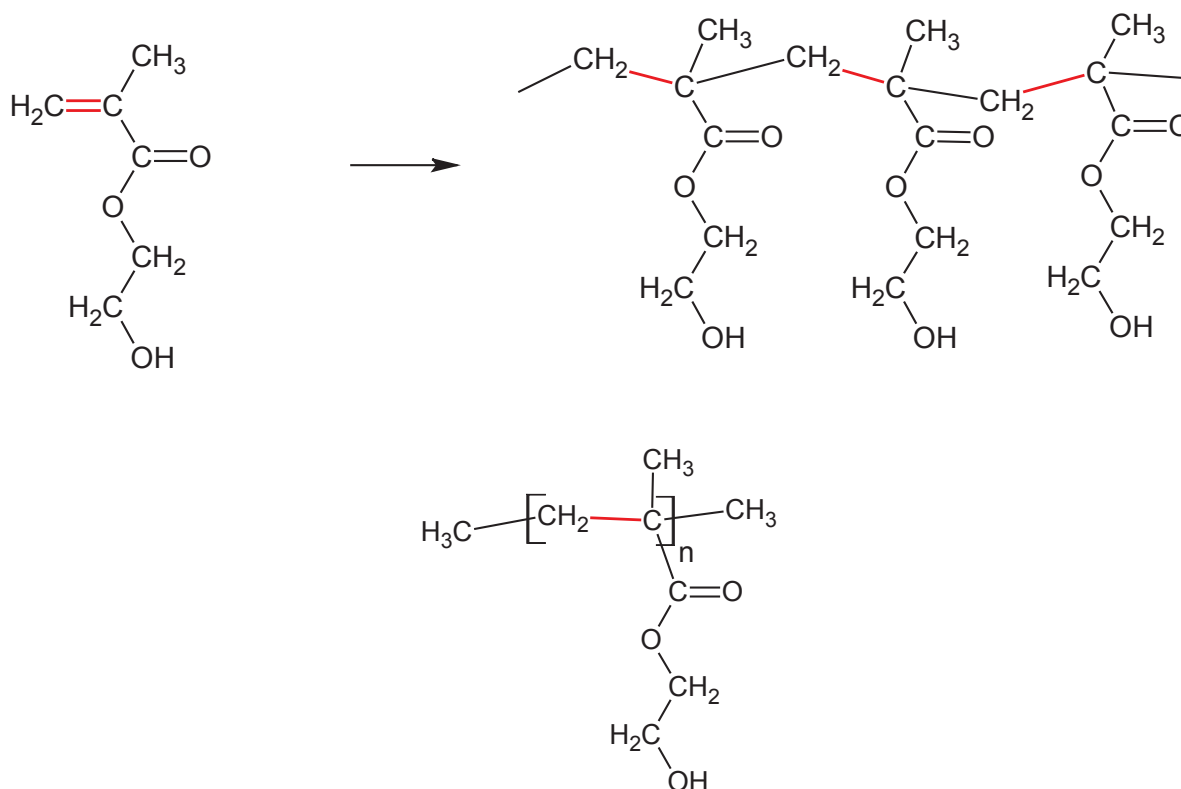
**Jméno:**

### a) Úkol

Podle laboratorního návodu připrav radikálovou polymerizací ve vodném prostředí vzorky syntetických hydrogelů ve formě, z hotových hydrogelů zhotov tělíška ve tvaru čtverečků asi 2 x 2 cm nebo koleček o průměru 2–3 cm pro další pokusy. Tělíška pak přechovávej v destilované vodě v uzavřených nádobkách.

### b) Výklad

Makromolekuly jsou velké molekuly, které vznikají vzájemným spojením malých molekul – neboli monomerů čili stavebních jednotek. Synonymem je termín polymer, proto je vznik makromolekul nazýván polymerizací. V našem případě jde o spojování molekul monomeru 2-hydroxyethylmetakrylátu kovalentními vazbami, viz chemické struktury na Obrázku 1. Také je možné vzájemné spojování jednotek různých monomerů, kupříkladu monomerem 1 je 2-hydroxyethyl metakrylát, monomerem 2 je kyselina metakrylová a monomerem 3 například etylénglykol dimetakrylát, viz Obrázek 2. Makromolekuly mohou být vzájemně pospojovány kovalentními vazbami do trojrozměrné sítě – tehdy, když některé stavební jednotky mají více polymerizovatelných míst. Protože taková makromolekulární síť je trojrozměrná, hydrogely nelze rozpustit, pouze ve vodě i jiných polárních rozpouštědlech bobtnají. Materiály z hydrogelů (jak syntetických tak přírodních) mají gelovitou až rosolovitou konzistenci. Protože obsahují vodu, nazývají se hydrogely. Přírodní hydrogely jsou však často vázány fyzikálními vazbami, proto je možné nalézt vnější podmínky, za nichž se rozpouštějí.



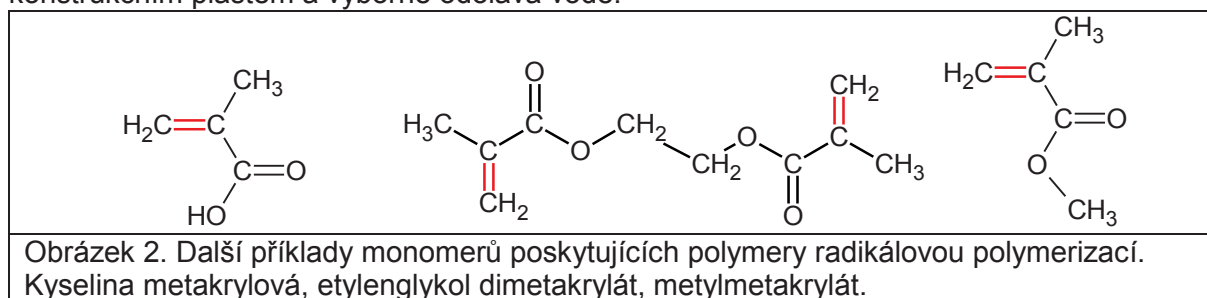




**Obrázek 1.** Molekula 2-hydroxyethylmetakrylátu poskytuje radikálovou polymerizaci poly(2-hydroxyethylmetakrylát). Spojování molekul schematicky naznačeno na obrázku nahoře – v tomto případě jsou viditelné zreagované tři molekuly 2-hydroxyethylmetakrylátu. Struktura na každé straně pokračuje stejným způsobem: ve skutečnosti obsahují řetězce polymerů stovky či třeba tisíce vazbami propojených jednotek z původních monomerů ( $n$  jednotek). To se schematicky zaznamená uzavřením opakující se struktury do hranatých závorek s indexem  $n$ , viz obrázek.

Přitom se štěpí vazby dvojná a vznikají vazby jednoduché. Pro to, aby molekuly mezi sebou začaly reagovat, je zapotřebí proces polymerizace iniciovat, zpravidla takzvanými radikály – to jsou molekuly, které ve své struktuře mají některou rozštěpenou vazbu, a tak nesou nepárový elektron – jsou velice reaktivní a zahájí proces řetězové radikálové polymerizace. Radikály vznikají rozpadem molekul iniciátorů, což jsou různé organické i anorganické reaktivní molekuly (např. tzv. systém redox, náš případ) nebo působením tepla na molekuly iniciátoru. V průmyslu se využívají různé typy iniciace. Po fázi iniciace probíhá na každém rostoucím řetězci fáze propagace, kdy se připojují další a další jednotky monomeru přičemž radikál existuje vždy na nové koncové jednotce a dále fáze terminace, kdy se řetězce v růstu zastavují buď vzájemnou reakcí dvou rostoucích řetězců anebo ztrátou koncového radikálu jinou reakcí.

Příkladem průmyslově ve velkém vyráběného materiálu radikálovou polymerizací je polymethylmetakrylát – Plexisklo. Zkratka mezinárodně zavedená pro tento polymer je PMMA a je také používána v systému recyklačních symbolů plastů. Polymethylmetakrylát je typickým konstrukčním plastem a výborně odolává vodě.



Syntetické hydrogely z poly(2-HEMA) se používají v medicíně jako podložky pro kultivace buněčných kultur a tkání – například pro léčbu spálenin. V této aplikaci musí být gel mikroporézní, aby byl možný záchyt a růst buněk. Poly(2-HEMA) hydrogely se používají v lékařském výzkumu – a to pro velkou snášenlivost s organismem. Tento polymer poskytuje také materiál s vysokou sorpční schopností, protože do své struktury dokáže vsřebat a zadržet vysoké množství vody (více vody než činí vlastní hmotnost gelové matrice). Takový sorbent ale musí být porézní nebo mikroporézní. Jedna lékařská aplikace hydrogelu z poly(2-HEMA) se v naší zemi proslavila – poly(2-HEMA) byl polymer pro první měkké kontaktní oční čočky. Kontaktní měkká čočka byla v šedesátých letech vyvinuta v Československu prof. Otto Wichterlem a jeho spolupracovníky. Stejný hydrogel ale i řada nových typů syntetických gelů se pro kontaktní čočky používá dodnes. Při této aplikaci by však mikroporozita byla na závadu, rozptyl světla na nehomogenitách, mikropórech by způsoboval zákal až neprůhlednost (jako rozptyl světla kapičkami tuku ve vodě způsobuje bělost mléka) – a to bude názorně demonstrováno i při našem experimentu. Složením směsi změníme vzhled výsledného hydrogelu, protože vzájemný poměr složek ovlivňuje jejich vzájemnou mísitelnost. Pokud vzájemná mísitelnost není dokonalá, vytvoří se kapičky, heterogenity, porozita – to jsou efekty, jejichž důsledkem se vytvoří mikrostruktura. Ta není vidět pouhým okem, ale s pomocí světelného popřípadě elektronového mikroskopu.

Monomer HEMA je dostupný a vyrábí se z ropy stejně jako ostatní uvedené monomery pro radikálovou polymerizaci a mnohé další.

Polymerizace bude provedena v destičkové formě v prostředí vody, pomocí iniciace anorganickou solí (tzv. redox iniciátor) a tzv. koiniciace organickou látkou



(tetrametyléndiamínem, TEMED) za laboratorní teploty. Žáci provádějí polymerizaci ve skupinách, každá skupina pracuje s jednou formou a může použít trochu jiné složení, viz Tabulka 1, přičemž výsledné materiály se budou lišit vzhledem. Vzniklý poly(2-hydroxyethylmetakrylát) je netoxický stejně jako použité monomery, proto je možné se gelu dotýkat, zkusit jeho pevnost a chování při ohybu, vysychání (při ztrátě vody přechází do skelného stavu, pokud se to děje rychle, materiál se drolí, ale zcela vyschlý je pevný asi jako plexisklo).

### c) Pomůcky

Monomery, voda, forma, laboratorní sklo, nástroje, mikrovlnná trouba.

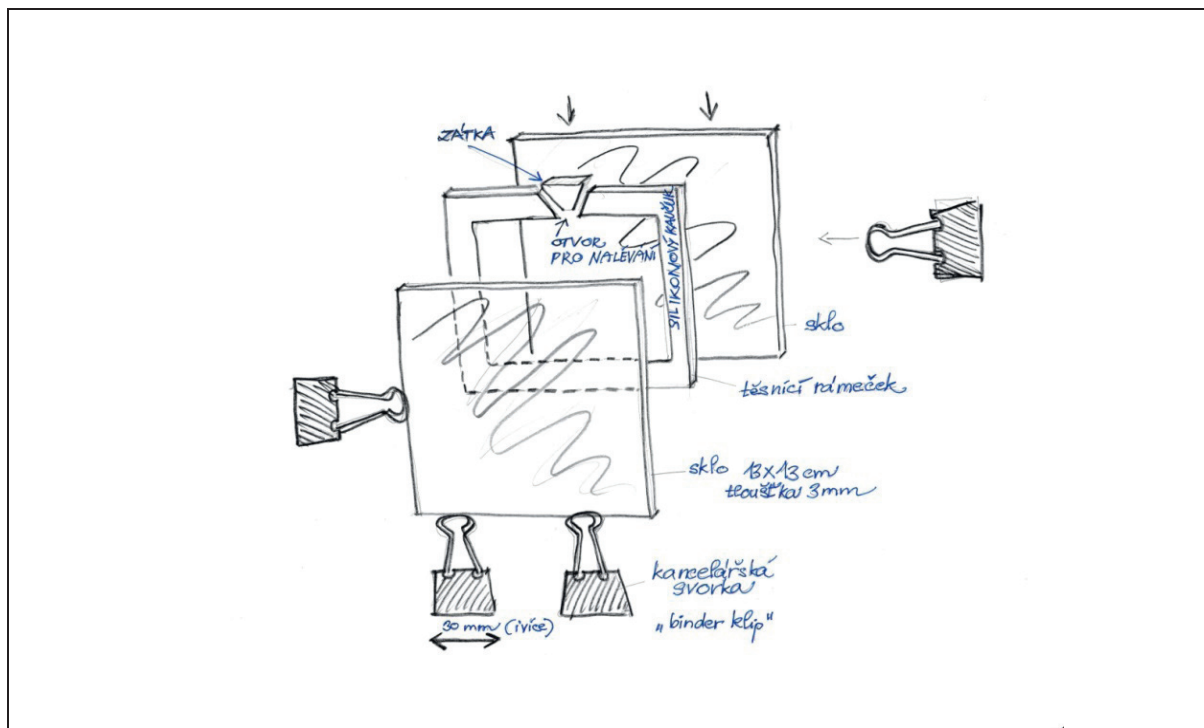
Podrobný seznam:

<b>monomer 1</b>	2-hydroxyethyl methakrylát, HEMA	cca 50 ml
<b>monomer 2</b>	kyselina metakrylová, KM	cca 50 ml
<b>monomer 3</b>	etylenglykol dimetakrylát	cca 20 ml
<b>iniciátor I</b>	TEMED tetrametylén diamin	4 g
<b>iniciátor II</b>	peroxidisíran amonný	10 g
	fluorescein volná kyselina	2 g
<b>forma</b>	sklo – tabulové	13 x 13 cm / 2 kusy na formu
	silikonový vál 60 x 40 cm bez dezénu, hladký nebo jiný kaučukovitý materiál na těsnění formy	1
	klipy na papír – klip Binder 32 mm	6 na jednu formu
<b>ostatní</b>	plastové pipety	
	stříčka plastová modrý uzávěr (voda)	
	baňka odměrná 250 ml s PE zátkou	
	baňka Erlenmayerova 25 ml se zábrusem a zátkou (užší zábrus)	4 ks
	lodička na vážení	4 ks
	stříkačka plastová 20 ml, 10 ml, popřípadě 2 ml	
	vykrajovátko kolečko V / 18 mm	
	Petriho misky malé	
	Petriho misky velké	
	váženky široké se zábrusovými víčky nebo jiné vhodné uzavíratelné nádoby na botnání a skladování vzorků*	10 ks
<b>různé</b>	alobal	
	pinzety ploché nerez	
	lžičky chemické nerez	
	tyčinka míchací otavená	
	kuchyňské utěrky bílé	



## d) Pracovní postup

1. Sestav formu ze dvou skel, jednoho těsnicího rámečku a sepi ji pomocí kancelářských svorek – typ „binder klip“. Postupuj dle Obrázku 3. Vyzkoušej těsnost sestavené formy vodou. Forma nesmí podtékat.



**Obrázek 3.** Forma na hydrogel. Tloušťka těsnicího rámečku může být několik mm, nejlépe asi 2–3 mm. Spotřeba materiálu je v tomto návodu spočítána pro tloušťku rámečku 2 mm. Dvě šipky nahoře ukazují umístění dalších dvou svorek – celkem je forma sestavena pomocí šesti svorek.

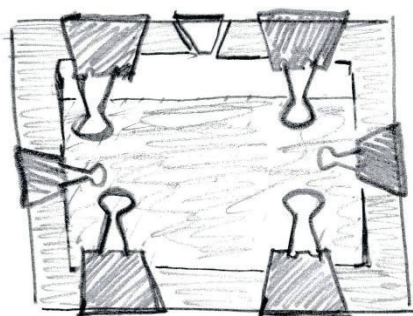
**Tabulka 1.** Složení polymerizačních směsí.

Složka/zkratka ↓	Zkratka	Hydrogel 1 [g]	Hydrogel 2 [g]	Hydrogel 3 [g]	Hydrogel 4 [g]
teplota polymerizace		25 °C	25 °C	70 °C	70 °C
voda		8,000	15,000	10,000	10,000
peroxodisíran amonný	APS	0,100	0,039	-	-
peroxodisíran draselný	KPS	-	-	0,450	0,450
5% roztok tetrametylén diamínu ve vodě	TEMED	0,1	0,1	-	-
monomer 1 2-hydroxyethylmetakrylát	HEMA	13,000	5,000	5,000	3,000
monomer 2 kyselina metakrylová	KM	-	-	10,000	12,000
monomer 3 etylenglykoldimetakrylát	EDMA	0,120	0,050	0,070	0,070
celkem [g]		23,120	20,189	25,520	25,520

2. Příprav polymerizační směs. Složení směsí je uvedeno v Tabulce 1. Při přípravě každé směsi postupuj podle tohoto návodu:
  - Do první Erlenmayerovy baňky si připrav zásobní roztok koiniciátoru TEMED: 5 ml zásobního roztoku stačí. Koncentrace je 5 hmotnostních procent ve vodě, použij



- destilovanou vodu a skladuj v popsané a uzavřené Erlenmayerově baňce se zábrusem nebo špuntem. TEMED přitom navažuj jako první do suché čisté a odvážené Erlenmayerovy baňky injekční stříkačkou s jehlou.
- Do druhé Erlenmayerovy baňky připrav roztok monomerů v dest. vodě: do baňky nasyp z lodičky navážený peroxodisíran amonný popř. draselný (podle typu hydrogelu), spláchni lodičku odměřenou destilovanou vodou z jiné baňky a rozmíchej do rozpuštění.
  - Pak přidej pipetkou monomer 1: 2-hydroxyetylmetakrylát, jemně zamíchej (do půl minuty), odměřuj dle rysek na pipetce.
  - Pokud je v návodu monomer 2, pipetkou přidej a znovu jemně zamíchej (do půl minuty).
  - Pak hned přidej na váze stříkačkou nebo pipetkou po kapkách etylenglykoldimetakrylát.
  - Pokud je k dispozici dusík v tlakové láhvi, pak monomerní směs v Erlenmayerově baňce probublávej asi pět minut (nasad' hadičku na ventil tlakové láhve a na konec hadičky nasad' pipetku či pevnou trubičku, která se ponoří ke dnu baňky se směsí APS nebo KPS, monomerů a vody).
  - Vyjmi bublací trubičku a přidej co nejpřesněji TEMED stříkačkou s jehlou pomocí váhy, rychle zamíchej.
  - Nalij směs nálevkovitým otvorem do formy pomocí stříkačky, kterou opatří na konci PE hadičkou, tak aby hladina směsi dosahovala asi dva cm pod okraj silikonového rámečku a formu uzavři zátkou, přetáhni část s otvorem PE potravinářskou fólií (nejlépe smršťovací) a zafixuj formu nastojato (nálevkou nahoru) na bezpečném místě, aby se nemohla převrátit.
  - V případě, že iniciační složkou je peroxodisíran draselný, zahřej formu na 70 °C pomocí mikrovlnné trouby po dobu jedné hodiny.
3. Nech obsah ve formě do druhého dne nebo do příští vyučovací hodiny.
  4. Po několika minutách nebo hodinách opatrným naklápěním formy sleduj, zda je obsah stále kapalinou či zda již neztuhl – zapiš čas, kdy se tak stalo.
  5. Nejdříve za 24 hodin rozeber formu a hotový hydrogel na rovném podkladu – nejlépe na plastové desce nakrájej skalpelem nebo vykroj formičkou – připrav čtverečky nebo kolečka popř. jiné tvary, hydrogel nesmí během manipulace vyschnout, proto vrať vzorky po chvílce vždy na několik minut do destilované vody. Opatrně nabírej lžičkou nebo uchop do pinzetky, dej pozor na mechanické poškození vzorku ostrými nástroji i rukama.



**Obrázek 4.** Uzavřená forma po nalití polymerizační směsi.



### e) Zpracování pokusu

1. Všechny kousky polymeru vlož do váženek se zábrusovými víčky nebo do jiných vhodných uzavíratelných nádobek do destilované vody, tak aby kousky byly potopeny, a nech je ve vodě botnat několik dnů.
2. Vodu několikrát vyměň, aby se nezreagované monomery vypraly (vyměňovanou vodu můžeš vylévat do výlevky, protože složky nejsou škodlivé prostředí ani nebezpečné).
3. Nabotnalé kousky gelů pozoruj, všimni si rozdílů ve vzhledu, zapiš přesné složení (navážku) při přípravě a vzhled každého druhu hydrogelu a vzorky pak využij pro studium jejich zajímavých vlastností.
4. Od každého typu hydrogelu nech jeden dva vzorky na nepřilnavém povrchu (plastový povrch, např. destička potažená PE fólií) úplně vyschnout.

### f) Závěr

Mezi destičkami vznikl ze směsi monomerů a vody vzorek syntetického hydrogelu ..... polymerizací.

Peroxodisíran amonný a tetrametylén diamín vytvářejí kombinací tzv. redox iniciátor radikálové polymerizace. V okamžiku, kdy v polymerizační směsi monomerů byly tyto dvě látky smíchány, vznikly ....., a došlo tak k ..... radikálové polymerizace. Další fáze radikálové polymerizace jsou ..... a .....

Peroxodisíran draselný funguje jako iniciátor radikálové polymerizace působením tepla. Proto k ..... polymerizace bylo nutno zvýšit teplotu.

Výsledné polymery jsou hydrofilní, jde o .....gely. Protože se složení polymerizačních směsí lišilo buď obsahem vody, nebo obsahem monomerů 1 a monomerů 2, vznikly vzorky o různém vzhledu. Čiré vzorky mají na mikroskopické úrovni heterogenní strukturu, vzorky, které jsou opaleskující nebo bílé, jsou .....

Vznik mikrostruktury zapříčinila různá ..... složek.

Příčinou vzniku opalescence a bílé barvy je lom světelných paprsků na mikroskopických ploškách rozhraní mezi kapičkami hydrogelu a vody.

Která složka kdy způsobila změnu vzhledu vzorku?

Co se stalo se vzorky, které ztratily vodu vyschnutím na vzduchu?



\*/ je možné využít např. skleněné lahvičky od jogurtů, džemu atd. – viz Obrázek 5.



**Obrázek 5.** Využit pro botnání i skladování vzorků lze různé skleněné nádoby z našeho okolí. Vhodné je těsné víčko, samozřejmostí čistota.



## Pracovní list pro pedagoga

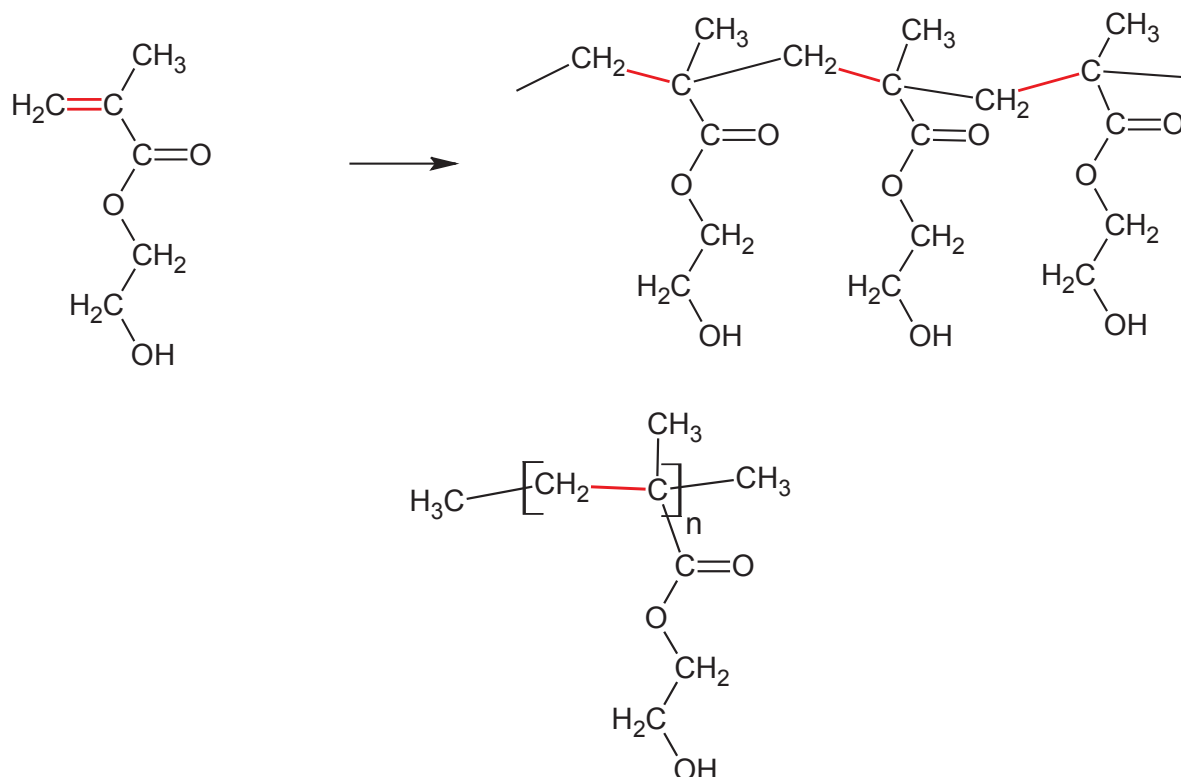
### Název: Užitečné polymery – nekonečné sítě z malých molekul

#### a) Úkol

Podle laboratorního návodu připrav radikálovou polymerizací ve vodném prostředí vzorky syntetických hydrogelů ve formě, z hotových hydrogelů zhotov tělíška ve tvaru čtverečků asi 2 x 2 cm nebo koleček o průměru 2–3 cm pro další pokusy. Tělíška pak přechovávej v destilované vodě v uzavřených nádobkách.

#### b) Výklad

Makromolekuly jsou velké molekuly, které vznikají vzájemným spojením malých molekul – neboli monomerů čili stavebních jednotek. Synonymem je termín polymer, proto je vznik makromolekul nazýván polymerizací. V našem případě jde o spojování molekul monomeru 2-hydroxyethylmetakrylátu kovalentními vazbami, viz chemické struktury na Obrázku 1. Také je možné vzájemné spojování jednotek různých monomerů, kupříkladu monomerem 1 je 2-hydroxyethyl metakrylát, monomerem 2 je kyselina metakrylová a monomerem 3 například etylénglykol dimetakrylát, viz Obrázek 2. Makromolekuly mohou být vzájemně pospojovány kovalentními vazbami do trojrozměrné sítě – tehdy, když některé stavební jednotky mají více polymerizovatelných míst. Protože taková makromolekulární síť je trojrozměrná, hydrogely nelze rozpustit, pouze ve vodě i jiných polárních rozpouštědlech botnají. Materiály z hydrogelů (jak syntetických tak přírodních) mají gelovitou až rosolovitou konzistenci. Protože obsahují vodu, nazývají se hydrogely. Přírodní hydrogely jsou však často vázány fyzikálními vazbami, proto je možné nalézt vnější podmínky, za nichž se rozpouštějí.

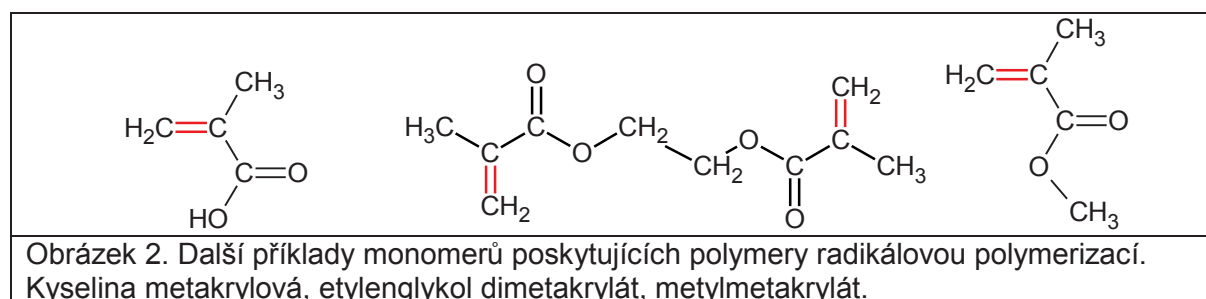




**Obrázek 1.** Molekula 2-hydroxyethylmetakrylátu poskytuje radikálovou polymerizací poly(2-hydroxyethylmetakrylát). Spojování molekul schematicky naznačeno na obrázku nahoře – v tomto případě jsou viditelné zreagované tři molekuly 2-hydroxyethylmetakrylátu. Struktura na každé straně pokračuje stejným způsobem: ve skutečnosti obsahují řetězce polymerů stovky či třeba tisíce vazbami propojených jednotek z původních monomerů ( $n$  jednotek). To se schematicky zaznamená uzavřením opakující se struktury do hranatých závorek s indexem  $n$ , viz obrázek.

Přitom se štěpí vazby dvojná a vznikají vazby jednoduché. Pro to, aby molekuly mezi sebou začaly reagovat, je zapotřebí proces polymerizace iniciovat, zpravidla takzvanými radikály – to jsou molekuly, které ve své struktuře mají některou rozštěpenou vazbu, a tak nesou nepárový elektron – jsou velice reaktivní a zahájí proces řetězové radikálové polymerizace. Radikály vznikají rozpadem molekul iniciátorů, což jsou různé organické i anorganické reaktivní molekuly (např. tzv. systém redox, náš případ) nebo působením tepla na molekuly iniciátoru. V průmyslu se využívají různé typy iniciace. Po fázi iniciace probíhá na každém rostoucím řetězci fáze propagace, kdy se připojují další a další jednotky monomeru přičemž radikál existuje vždy na nové koncové jednotce a dále fáze terminace, kdy se řetězce v růstu zastavují buď vzájemnou reakcí dvou rostoucích řetězců anebo ztrátou koncového radikálu jinou reakcí.

Příkladem průmyslově ve velkém vyráběného materiálu radikálovou polymerizací je polymethylmetakrylát – Plexisklo. Zkratka mezinárodně zavedená pro tento polymer je PMMA a je také používána v systému recyklačních symbolů plastů. Polymethylmetakrylát je typickým konstrukčním plastem a výborně odolává vodě.



Syntetické hydrogely z poly(2-HEMA) se používají v medicíně jako podložky pro kultivace buněčných kultur a tkání – například pro léčbu spálenin. V této aplikaci musí být gel mikroporézní, aby byl možný záchyt a růst buněk. Poly(2-HEMA) hydrogely se používají v lékařském výzkumu – a to pro velkou snášenlivost s organismem. Tento polymer poskytuje také materiál s vysokou sorpční schopností, protože do své struktury dokáže vstřebat a zadržet vysoké množství vody (více vody než činí vlastní hmotnost gelové matrice). Takový sorbent ale musí být porézní nebo mikroporézní. Jedna lékařská aplikace hydrogelu z poly(2-HEMA) se v naší zemi proslavila – poly(2-HEMA) byl polymer pro první měkké kontaktní oční čočky. Kontaktní měkká čočka byla v šedesátých letech vyvinuta v Československu prof. Otto Wichterlem a jeho spolupracovníky. Stejný hydrogel ale i řada nových typů syntetických gelů se pro kontaktní čočky používá dodnes. Při této aplikaci by však mikroporozita byla na závadu, rozptyl světla na nehomogenitách, mikropórech by způsoboval zákal až neprůhlednost (jako rozptyl světla kapičkami tuku ve vodě způsobují bělost mléka) – a to bude názorně demonstrováno i při našem experimentu. Složením směsí změním vzhled výsledného hydrogelu, protože vzájemný poměr složek ovlivňuje jejich vzájemnou mísitelnost. Pokud vzájemná mísitelnost není dokonalá, vytvoří se kapičky, heterogenity, porozita – to jsou efekty, jejichž důsledkem se vytvoří mikrostruktura. Ta není vidět pouhým okem, ale s pomocí světelného popřípadě elektronového mikroskopu.

Monomer HEMA je dostupný a vyrábí se z ropy stejně jako ostatní uvedené monomery pro radikálovou polymerizaci a mnohé další.





Polymerizace bude provedena v destičkové formě v prostředí vody, pomocí iniciace anorganickou solí (tzv. redox iniciátor) a tzv. koiniciace organickou látkou (tetrametyléndiamínem, TEMED) za laboratorní teploty. Žáci provádějí polymerizaci ve skupinách, každá skupina pracuje s jednou formou a může použít trochu jiné složení, viz Tabulka 1, přičemž výsledné materiály se budou lišit vzhledem. Při obsahu vody nad 50 % hmotnostních ve směsi s monomerem 2-HEMA vzniknou bílé houževnaté gely (v případě dostupnosti mikroskopu je možné pozorovat houbovitou strukturu). Při obsahu vody nižším než 35 hmotnostních procent vzniknou gely čiré a připomínající sklo, avšak i tyto gely zadržují ve své struktuře stále určitý podíl vody, který mohou následně žáci změřit gravimetricky a porovnat s tabulkovým údajem (ten je citován v pracovním návodu). Pokud se v typech hydrogelů 1 a 2 dle Tabulky 1 mění obsah vody, pak je třeba dodržet limitní horní a spodní koncentraci vody: maximálně 80 % hm. vody v celkové receptuře a minimálně asi 20 % hmotnostních vody: pokud by bylo vody více než 80 %, vzniklý gel není samonosný, pokud méně než cca 20 %, je obtížné vzorek odformovat. Vzniklý poly(2-hydroxyethylmetakrylát) je netoxický stejně jako ostatní použité monomery, proto je možné se gelu dotýkat, zkusit jeho pevnost a chování při ohybu rukama, při vysychání po chvíli přechází gel do skelného stavu, pokud se to děje rychle, materiál se drolí, ale zcela vyschlý je opět pevný asi jako plexisklo – jeho chemická struktura připomíná polymethylmetakrylát. Důvodem, proč je materiál gelu tak smáčivý a proč ve vodě bobtná, je přítomnost hydrofilní skupiny –OH ve struktuře a schopnost tvořit s molekulami vody vodíkové můstky.

Do polymerační směsi je možné přidat barvivo, např. fluorescein, které zvýrazní hmotu gelu.

### c) Pomůcky

Monomery, voda, forma, laboratorní sklo.

Podrobný seznam:

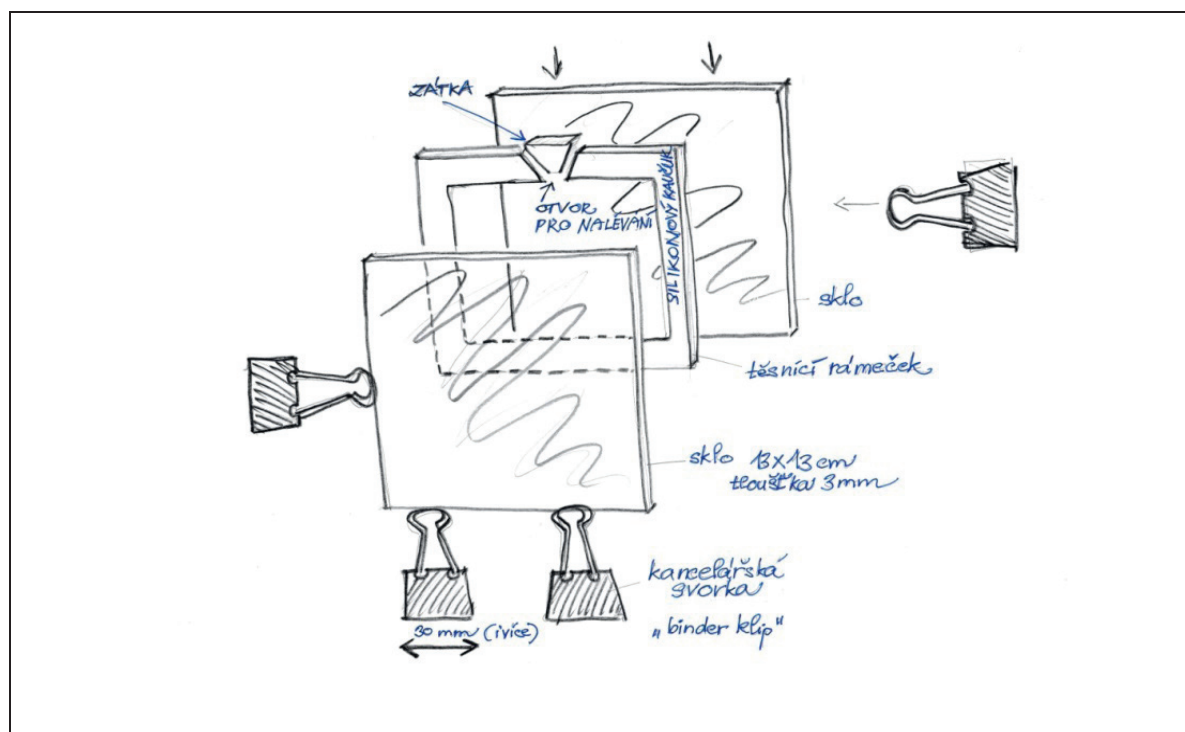
<b>monomer 1</b>	2-hydroxyethylmethakrylát, HEMA	cca 50 ml
<b>monomer 2</b>	kyselina metakrylová, KM	cca 50 ml
<b>monomer 3</b>	etylénglykol dimetakrylát	cca 20 ml
<b>iniciátor I</b>	TEMED tetrametylén diamin	4 g
<b>iniciátor II</b>	peroxidisíran amonný	10 g
	fluorescein volná kyselina	2 g
<b>forma</b>	sklo – tabulové	13 x 13 cm / 2 kusy na formu
	silikonový vál 60 x 40 cm bez dezénu, hladký nebo jiný kaučukovitý materiál na těsnění formy	1
	klipy na papír – klip Binder 32 mm	6 na jednu formu
<b>ostatní</b>	plastové pipety	
	stříčka plastová modrý uzávěr (voda)	
	baňka odměrná 250 ml s PE zátkou	
	baňka Erlenmayerova 25 ml se zábrusem a zátkou (užší zábrus)	4 ks
	lodička na vážení	4 ks
	stříkačka plastová 20 ml, 10 ml, popřípadě 2 ml	



	vykrajovátko kolečko V / 18 mm	
	Petriho misky malé	
	Petriho misky velké	
	váženky široké se zábrusovými víčky nebo jiné vhodné uzavíratelné nádoby na botnění a skladování vzorků*	10 ks
<b>různé</b>	alobal	
	pinzety ploché nerez	
	lžičky chemické nerez	
	tyčinka míchací otavená	
	kuchyňské utěrky bílé	

#### d) Pracovní postup

1. Sestav formu ze dvou skel, jednoho těsnicího rámečku a sepi ji pomocí kancelářských svorek – typ „binder klip“. Postupuj dle Obrázku 3. Vyzkoušej těsnost sestavené formy vodou. Forma nesmí podtékat.



**Obrázek 3.** Forma na hydrogel. Tloušťka těsnicího rámečku může být několik mm, nejlépe asi 2–3 mm. Spotřeba materiálu je v tomto návodu spočítána pro tloušťku rámečku 2 mm. Dvě šipky nahoře ukazují umístění dalších dvou svorek – celkem je forma sestavena pomocí šesti svorek.

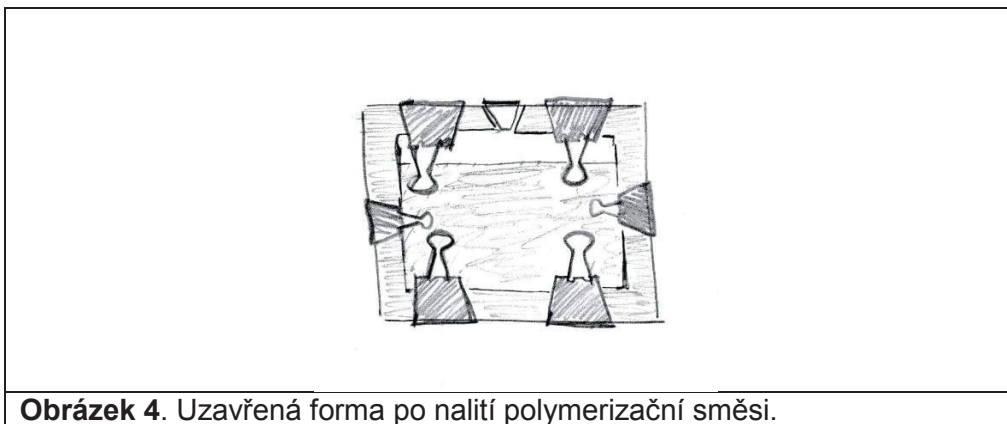
**Tabulka 1.** Složení polymerizačních směsí.

Složka/zkratka ↓	Zkratka	Hydrogel 1 [g]	Hydrogel 2 [g]	Hydrogel 3 [g]	Hydrogel 4 [g]
teplota polymerizace		25 °C	25 °C	70 °C	70 °C
voda		8,000	15,000	10,000	10,000
peroxodisíran amonný	APS	0,100	0,039	-	-
peroxodisíran draselný	KPS	-	-	0,450	0,450
5% roztok tetrametylén diamínu ve vodě	TEMED	0,1	0,1	-	-
monomer 1 2-hydroxyetylmetakrylát	HEMA	13,000	5,000	5,000	3,000
monomer 2 kyselina metakrylová	KM	-	-	10,000	12,000
monomer 3 etylenglykoldimetakrylát	EDMA	0,120	0,050	0,070	0,070
celkem [g]		23,120	20,189	25,520	25,520

2. Příprav polymerizační směs. Složení směsí je uvedeno v Tabulce 1. Při přípravě každé směsi postupuj podle tohoto návodu:
  - Do první Erlenmayerovy baňky si připrav zásobní roztok koiniciátoru TEMED: 5 ml zásobního roztoku stačí. Koncentrace je 5 hmotnostních procent ve vodě, použij destilovanou vodu a skladuj v popsané a uzavřené Erlenmayerově baňce se zábrusem nebo špuntem. TEMED přitom navažuj jako první do suché čisté a odvážené Erlenmayerovy baňky injekční stříkačkou s jehlou.
  - Do druhé Erlenmayerovy baňky připrav roztok monomerů v dest. vodě: do baňky nasyp z lodičky navážený peroxodisíran amonný popř. draselný (podle typu hydrogelu), spláchni lodičku odměřenou destilovanou vodou z jiné baňky a rozmíchej do rozpuštění.
  - Pak přidej pipetkou monomer 1: 2-hydroxyetylmetakrylát, jemně zamíchej (do půl minuty), odměřuj dle rysek na pipetce.
  - Pokud je v návodu monomer 2, pipetkou přidej a znovu jemně zamíchej (do půl minuty).
  - Pak hned přidej na váze stříkačkou nebo pipetkou po kapkách etylenglykoldimetakrylát.
  - Pokud je k dispozici dusík v tlakové láhvi, pak monomerní směs v Erlenmayerově baňce probublávej asi pět minut (nasad hadičku na ventil tlakové láhve a na konec hadičky nasad pipetku či pevnou trubičku, která se ponoří ke dnu baňky se směsí APS nebo KPS, monomerů a vody).
  - Vyjmi bublací trubičku a přidej co nejpřesněji TEMED stříkačkou s jehlou pomocí váhy, rychle zamíchej.
  - Nalij směs nálevkovitým otvorem do formy pomocí stříkačky, kterou opatří na konci PE hadičkou, tak aby hladina směsi dosahovala asi dva cm pod okraj silikonového rámečku a formu uzavři zátkou, přetáhni část s otvorem PE potravinářskou fólií (nejlépe smršťovací) a zafixuj formu nastojato (nálevkou nahoru) na bezpečném místě, aby se nemohla převrátit.
  - V případě, že iniciační složkou je peroxodisíran draselný, zahřej formu na 70 °C pomocí mikrovlnné trouby po dobu jedné hodiny.
3. Nech obsah ve formě do druhého dne nebo do příští vyučovací hodiny.
4. Po několika minutách nebo hodinách opatrným naklápěním formy sleduj, zda je obsah stále kapalinou či zda již nezuhl – zapiš čas, kdy se tak stalo.
5. Nejdříve za 24 hodin rozeber formu a hotový hydrogel na rovném podkladu – nejlépe na plastové desce nakrájej skalpelem nebo vykroj formičkou – připrav čtverečky nebo kolečka popř. jiné tvary, hydrogel nesmí během manipulace vyschnout, proto vrať vzorky po chvilce vždy na několik minut do destilované vody. Opatrně nabírej lžičkou



nebo uchop do pinzetky, dej pozor na mechanické poškození vzorku ostrými nástroji i rukama.



#### e) Zpracování pokusu

1. Všechny kousky polymeru vlož do váženek se zábrusovými víčky nebo do jiných vhodných uzavíratelných nádobek do destilované vody, tak aby kousky byly potopeny, a nech je ve vodě botnat několik dnů.
2. Vodu několikrát vyměň, aby se nezreagované monomery vypraly (vyměňovanou vodu můžeš vylévat do výlevky, protože složky nejsou škodlivé prostředí ani nebezpečné).
3. Nabotnalé kousky gelů pozoruj, všimni si rozdílů ve vzhledu, zapiš přesné složení (navážku) při přípravě a vzhled každého druhu hydrogelu a vzorky pak využij pro studium jejich zajímavých vlastností.
4. Od každého typu hydrogelu nech jeden dva vzorky na nepřilnavém povrchu (plastový povrch, např. destička potažená PE fólií) úplně vyschnout.

#### f) Závěr

Mezi destičkami vznikl ze směsi monomerů a vody vzorek syntetického hydrogelu **radikálovou** polymerizací.

Peroxodisíran amonný a tetrametylén diamín vytvářejí kombinací tzv. redox iniciátor radikálové polymerizace. V okamžiku, kdy v polymerizační směsi monomerů byly tyto dvě látky smíchány, vznikly **radikály**, a došlo tak k **iniciaci** radikálové polymerizace. Další fáze radikálové polymerizace jsou **propagace** a **terminace**.

Peroxodisíran draselný funguje jako iniciátor radikálové polymerizace působením tepla. Proto k **iniciaci** polymerizace bylo nutno zvýšit teplotu.

Výsledné polymery jsou hydrofilní, jde o **hydrogely**. Protože se složení polymerizačních směsí lišilo buď obsahem vody, nebo obsahem monomeru 1 a monomeru 2, vznikly vzorky o různém vzhledu. Číré vzorky mají na mikroskopické úrovni homogenní strukturu, vzorky, které jsou opaleskující nebo bílé, jsou **heterogenní** nebo **porézní**.



### Příklady mikrostruktury – viz Obrázky 6 a 7.

Vznik mikrostruktury zapříčinila různá **mísitelnost** složek.

Příčinou vzniku opalescence a bílé barvy je lom světelných paprsků na mikroskopických ploškách rozhraní mezi kapičkami hydrogelu a vody. **Charakteristické struktury v heterogenních gelech takto vytvořených mají rozměry od několika mikronů po několik desítek mikronů. V medicínálních aplikacích se uplatňují spíše větší porozity a výhodou je, když jsou póry propojené, protože tak buňky snadněji přijímají živiny a komunikují s prostředím.**

Která složka kdy způsobila změnu vzhledu vzorku?

Voda – do určité koncentrace jsou monomery mísitelné, pokud je tato koncentrace překročena, dochází k odměšení přičemž odměšení může nastat v pozdějších fázích polymerizace. Vlivem různé dynamiky odměšení vzniká různá mikrostruktura, velikost i uspořádání pórů se liší. Vliv na mikrostrukturu má i složení a chemický charakter složek.

Co se stalo se vzorky, které ztratily vodu vyschnutím na vzduchu?

Ztvrdly – a některé mohly změnit vzhled: z bílých hydrogelů ve zbotnalém stavu vzniknou čiré kousky polymerního skla, protože odpařením vody se části gelu dostanou k sobě, „slepí se“ a přestanou rozptylovat světlo, pokud se smočí a opět zbotnají, tak opět zbledí.

Obsah vody ve vzorku je po nabotnění do rovnovážného stavu konstantní, je funkcí teploty a složení matrice, přesně řečeno je funkcí sesíťovanosti matrice, která se vyjadřuje jako koncentrace spojů mezi uzly molekulární sítě na jednotku objemu buď suchého, nebo zbotnalého materiálu.

\*/ je možné využít např. skleněné lahvičky od jogurtů, džemu atd. – viz Obrázek 5.



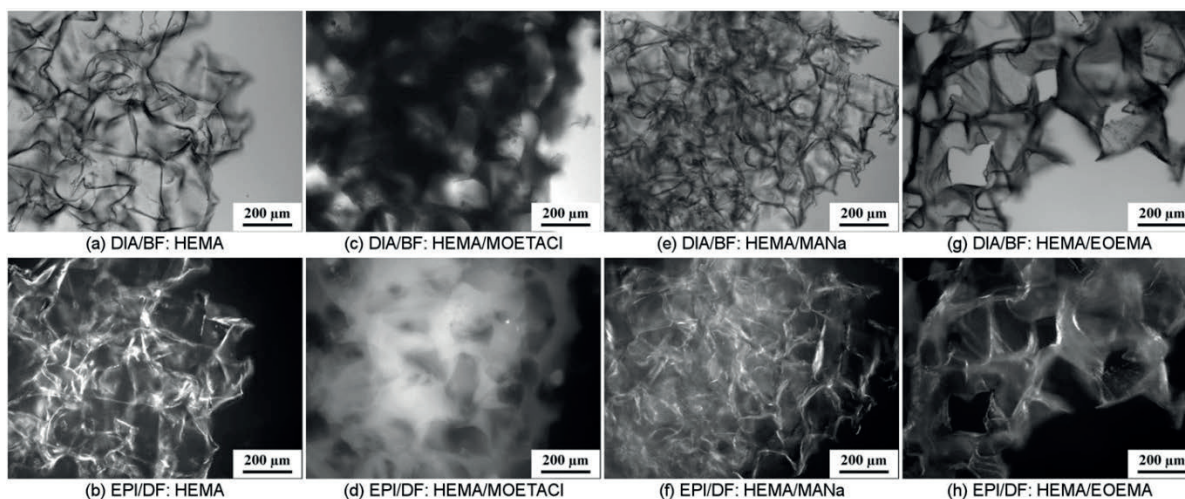
**Obrázek 5.** Využít pro botnění i skladování vzorků lze různé skleněné nádoby z našeho okolí. Vhodné je těsné víčko, samozřejmostí čistota.



## Příklad mikroskopického uspořádání syntetických hydrogelů

### gely pod optickým mikroskopem

gely na obrázcích jsou zbotnalé ve vodě, obsahují mnoho kanálků a pórů

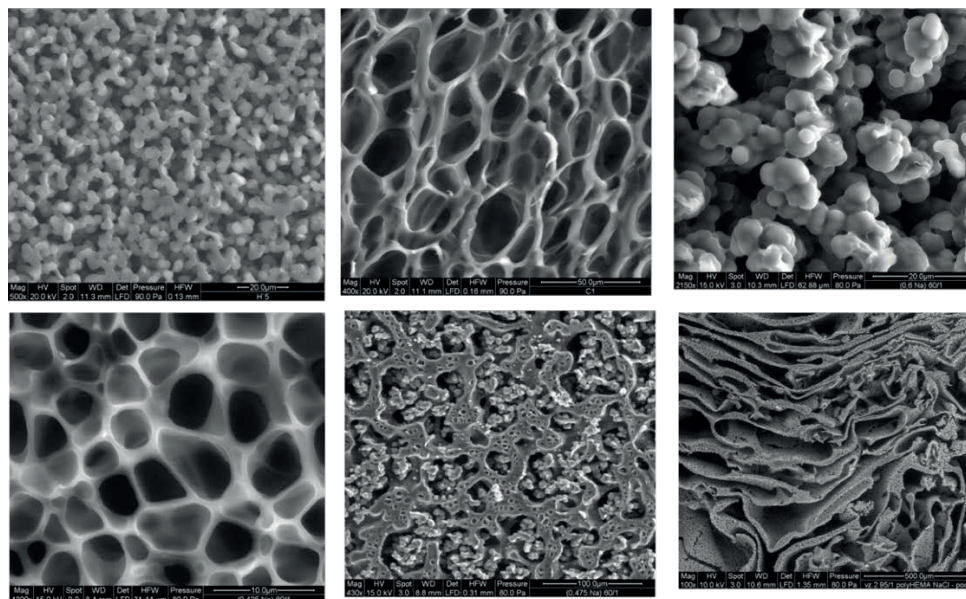


Převzato z práce dr. Kubies a spol., Ústav makromolekulární chemie, AV ČR, v.v.i. Praha 2014.

Obrázek 6. Mikrostruktura hydrogelů.

## DALŠÍ PŘÍKLAD MORFOLOGIE SYNTETICKÝCH HYDROGELŮ

### GELY ve skenovacím elektronovém mikroskopu



Vzorky gelů připraveny v Oddělení polymerních gelů, vedoucí práce M. Dušková.

Elektronové mikrografy pořídilo Oddělení morfologie ÚMCH AV ČR, v.v.i.

Obrázek 7. Mikrostruktura hydrogelů.



# Reakční směsi – hydrogely redoxní polymerizací

## Příklady složení

GEL 1 (vznikne bílý porézní gel)

	molární obsah [mmol]	molekulová váha [g/mol]	gramů složky
HEMA	5,53	130,14	0,720
MA	16,72	86,09	1,440
EDMA	0,0525	198,22	0,010
VODA	[8 ml]	18	8
APS	0,65	228,18	0,148
TEMED	0,65	116,20	0,076
celkem			10,4

Obsah monomerů [hm.%]: 23,0

$$\rho_{\text{TEMED}} = 1 \text{ g/cm}^3$$

GEL 2 (vznikne bílý porézní gel, měkčí než gel 1)

	molární obsah [mmol]	molekulová váha [g/mol]	gramů složky
HEMA	5,53	130,14	0,720
MA	16,72	86,09	1,440
EDMA	0,0525	198,22	0,010
VODA	[10 ml]	18	10
APS	0,65	228,18	0,148
TEMED	0,65	116,20	0,076
celkem			12,4

Obsah monomerů [hm. %]: 17,5

GEL 3 (vznikne čirý tužší gel)

	molární obsah [mmol]	molekulová váha [g/mol]	gramů složky
HEMA	11	130,14	1,45
EDMA	0,0525	198,22	0,010
VODA	[1 ml]	18	1
APS	0,325	228,18	0,075
TEMED	0,325	116,20	0,038
celkem			2,58

Obsah monomerů [hm. %]: 60



## KRYOGEL

Příprava ve stříkačce v mrazáku (ideální teplota -18 až -20 °C, což splňuje většina běžných mrazáků v domácích lednicích).

	molární obsah [mmol]	molekulová váha [g/mol]	gramů složky	
HEMA	5,6	130,14	0,730	Obsah monomerů [hm.%]: 15; doporučeno: rozdělit roztok solil na dvě části, do jedné přidat TEMED a do druhé APS, pak přidat co možná vzápětí po sobě za stálého promíchávání do nádobky s naváženými monomery.
EDMA	0,07	198,22	0,014	
voda	[4 ml]		4,000	
NaCl	2,1	58,5	0,123	
APS	0,1	228,18	0,023	
TEMED	0,4	116,20	0,047	
celkem			4,937	

## Poznámky:

- Celkové množství navážky přizpůsobíme objemu formy.
- Složení směsi lze měnit: např. poměr monomerů ku vodě v rozmezí asi od 10 do 60 hmotnostních procent monomerů v celkové navážce.
- Nejlépe vyjmout z formy až druhý den nebo i za více dnů.
- Při přípravě minimalizovat přístup vzduchu – působí jako zhášec volných radikálů a způsobuje nedostatečné zpolymerování. Kdo má možnost, může do nádobek skleněnou trubičkou zavést inertní plyn, dusík, argon. Příprava gelů se zdaří, i když je tento krok vynechán.
- Používat ochranné pomůcky: plášť, rukavice, brýle.





# Opakování

**Název hodiny: Užitečné polymery – nekonečné sítě z malých molekul**

**Jméno:**

1) Vyplň tajenku. Doplnuj správné odpovědi do řádků odshora dolů.

a/ Který prvek je základem dlouhých řetězců polymerních molekul?

b/ Který polymer je častým obalovým plastem? (Nápověda: v recyklačním symbolu má zkratku PP.)

c/ Chemický děj, při němž dochází ke snižování oxidačního čísla prvku.

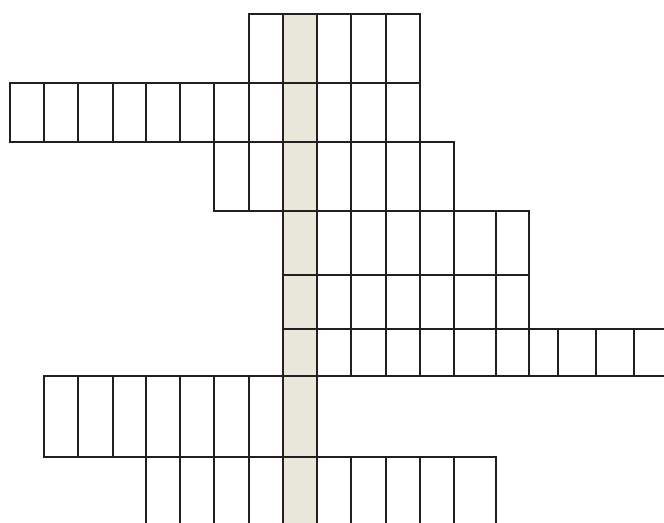
d/ Molekulární fragment s nepárovým elektronem.

e/ Chemický děj, při němž dochází ke zvyšování oxidačního čísla prvku.

f/ Metoda, při níž se změny v látkách charakterizují změnami hmotnosti.

g/ První fáze radikálové polymerizace.

h/ Vazba vznikající chemickou reakcí (přídavné jméno charakterizující takovou vazbu).



2) Proč je směs dvou jinak čirých kapalin bílá? (např. mléko)



## Opakování – řešení pro pedagoga

### Název hodiny: Užitečné polymery – nekonečné sítě z malých molekul

1) Vyplň tajenku. Doplňuj správné odpovědi do řádků odshora dolů.

a/ Který prvek je základem dlouhých řetězců polymerních molekul?

b/ Který polymer je častým obalovým plastem? (Nápověda: v recyklačním symbolu má zkratku PP.)

c/ Chemický děj, při němž dochází ke snižování oxidačního čísla prvku.

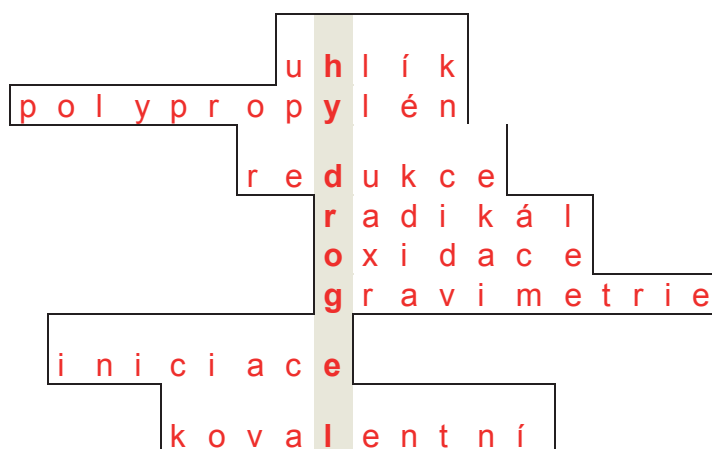
d/ Molekulární fragment s nepárovým elektronem.

e/ Chemický děj, při němž dochází ke zvyšování oxidačního čísla prvku.

f/ Metoda, při níž se změny v látkách charakterizují změnami hmotnosti.

g/ První fáze radikálové polymerizace.

h/ Vazba vznikající chemickou reakcí (přídavné jméno charakterizující takovou vazbu).



2) Proč je směs dvou jinak čirých kapalin bílá, například mléko?

Mikrostruktura vlivem omezené mísitelnosti – rozptyl světla na rozhraní mezi kapičkami tuku a vodnou fází.







# Užitečné polymery – nekonečné sítě z malých molekul

Ing. Dr. Miroslava Dušková Smrčková



[www.otevrenaveda.cz](http://www.otevrenaveda.cz)



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ