



ÚŘAD PRO VYNÁLEZY
A OBJEVY

POPIS VYNÁLEZU

K AUTORSKÉMU OSVEDČENIU

209269

(11)

(B1)

(22) Prihlásené 21 08 79

(21) (PV 5690-79)

(40) Zverejnené 27 02 81

(45) Vydané 01 05 83

(51) Int. Cl.³

C 07 D 303/04

C 08 F 8/08

(75)

Autor vynálezu

MACHO VENDELÍN ing. DrSc., NOVÁKY, TALIAN IGOR RNDr.,
PATUŠOVÁ ELENA ing., PRIEVIDZA, REVÚS MILOŠ ing. a
MAREČEK VÁCLAV ing., BRATISLAVA

(54) Spôsob výroby nasýtených alebo nenasýtených alifatických epoxizlúčenín s 20 až 80 atómami uhlíka

Vynález sa týka spôsobu výroby nasýtených alebo nenasýtených alifatických epoxizlúčenín s 20 až 80 atómami uhlíka z dostupných petrochemických surovín, pripravených oligomerizáciou, polymerizáciou alebo kopolymerizáciou, predovšetkým alkénov a diénov, pričom sa dosahuje pomerne vysoká rýchlosť epoxidácie i selektivita na alkyloxirany alebo alkenyloxirany.

Je všeobecne známe, že epoxidáciu alkénov možno uskutočňovať chlórhydrináciou s následnou dehydrochloráciou, ďalej organickými peroxikyselinami vopred pripravenými [Priležajev N. A.: Ber. 42, 4811 (1909); V. Brit. pat. 990 883; Švajč. pat. 481 089; Saranča V. N. a spol.: Kinetika i kataliz 18, 1612 (1977)] alebo vytváranými „in situ“ z peroxidu vodíka, karbónovej kyseliny alebo jej anhydridu za pôsobenia kyslých katalyzátorov, napr. katexu [NSR pat. 1 210 850; Šapilov O. D. a kol.: Ž. prikl. chim. 45, 1578 (1972)], potom kooxidáciou alkénov a aldehydov kyslíkom, resp. vzduchom za vzniku alkénoxidov a z aldehydov odpovedajúcich kyselín [Bljumberg E. A., Filipova T. V.: Neftechimija 6, 863 (1966); Andrianov A. A., Černjak B. I.: Neftechimija 8, 22 (1969); Tavadin L. A. a kol.: Neftechimija 18, 667 (1978); austrál. pat. 405 028 a franc. pat. 1 410 985]. Nevýhodou, tak ako v prípade epoxidácie peroxikyselinami, je vysoká korózia zariadenia a navyše

v poslednom prípade aj nízka selektivita. Priama oxidácia vzduchom, resp. kyslíkom sa zatiaľ s vysokou selektivitou dokáže aplikovať len na epoxidáciu etylénu na etylénoxid. Na prípravu propylénoxidu priamou oxidáciou propylénu je síce známych viac postupov, ale uplatnenie vo výrobe z dôvodov príliš nízkej selektivity ešte žiaden nenašiel [NSR pat. 896 941; V. Brit. pat. 724 207; Mistrík J. E.: Petrochémia 19, 43 (1979)]. Tak v súčasnosti priemyselne najvýznamnejšie sú epoxidácie olefinov organickými hydroperoxidmi [belg. pat. 644 090; franc. pat. 1 459 796 a 1 460 575; Krjukov S. I., Farberov M. J.: Neftechimija 11, 224 (1971); Sheng M. N., Zajacek J. G.: J. Org. Chem. 35, 1839 (1970)], najmä terc-butylhydroperoxidom, etylbenzénhydroperoxidom a kuménhydroperoxidom, za katalytického účinku prechodných kovov a ich zlúčenín, najmä zlúčenín Mo, V, W, Se, Te, Cr, Ti, Re, Ta, B, Nb a Ni. Najvýznamnejšie katalyzátory sú na báze molybdénu [Ševčíková I., Mistrík J. E.: Petrochémia 18, 186 (1978)]. Epoxidácia organickými hydroperoxidmi sa však aplikuje na epoxidáciu alkénov najviac do C₁₈. Nevýhodou je však skutočnosť, že ako reakčná voda, tak aj vovedená do reakčného prostredia epoxidácie, najmä však alkohol vznikajúci z organických hydroperoxidov, hlavne po ich konverzii na epoxidáciu alkénov (napr. z terc-butylhydroperoxidu vzniknu-

209269

tý terc-butylalkohol, z etylbenzénhydroperoxidu 1-fenyletanol a z kuménhydroperoxidu kumylalkohol), inhibuje, resp. retarduje epoxidáciu [Farberov, Stožkova, Bondarenko, Glusker: *Neftechimija* **10**, 218 (1970); Howe, Hiatt: *J. Org. Chem.* **36**, 2493 (1971); Indiktor, Brill: *J. Org. Chem.* **30**, 2074 (1965); Boeva, Tanieljan, Ivanov: *Neftechimija* **18**, 768 (1978)]. Príčina spočíva vo vytváraní konkurenčných komplexov alkoholov a prípadne vody s epoxidačným katalyzátorom. Tieto a ďalšie nedostatky odstraňuje a známe prednosti epoxidácie alkénov hydroperoxidmi i peroxokyselinami analogicky aplikuje na výrobu vysokomolekulárnych epoxizlúčenín spôsob podľa tohto vynálezu.

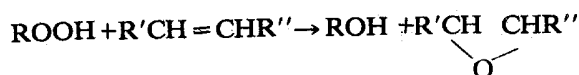
Podľa tohto vynálezu sa spôsob výroby nasýtených alebo nenasýtených alifatických epoxizlúčenín s 20 až 80 atómami uhlíka a prípadne odpovedajúcich kyslíkatých zlúčenín epoxidáciou organickými hydroperoxidmi ako sú terciálny-butylhydroperoxid, etylbenzénový roztok etylbenzénhydroperoxidu a kuménový roztok kuménhydroperoxidu, za katalytického účinku aspoň jedného z prvkov alebo zlúčenín prvkov V.a a VI.a podskupiny periodického systému prvkov pri teplote 30 až 160 °C, alebo peroxidu vodíka za spolupôsobenia organických alebo anorganických kyselín a katalyzátorov na báze kationaktívnych iónomeničov alebo aspoň jednej zo zlúčenín bóru, molybdénu, volfrámu, ortuti, bizmutu, antimónu a arzénu, s výhodou heterogénnych alebo heterogenizovaných katalyzátorov, pri teplote 20 až 120 °C, prípadne za prítomnosti inertných rozpúšťadiel, ktoré za podmienok epoxidácie nepodliehajú oxidačným zmenám, najmä cyklohexánu, heptánu, 1,2-dichlóretánu, nasýtených aromatických prípadne alifatickoaromatických uhľovodíkov, uskutočňuje tak, že sa epoxiduje kopolymér alebo homopolymér alkénov s 2 až 5 atómami uhlíka, pričom jednotlivé zložky v zmesi sú v pomere 0,1 : 1 až 1 : 0,1 hmot. dielov, alebo konjugovaných diénov so 4 až 5 atómami uhlíka obsahujúci priemerne 1 až 4 dvojité väzby v makromolekule, pri celkovom tlaku 0,1 až 200 kPa a celkovom molárnom pomere organického hydroperoxidu alebo peroxidu vodíka k epoxidovanému homopolyméru alebo kopolyméru 1 až 5 : 1, pričom uvoľňovaný alkohol alebo voda sa odvádzajú samostatne alebo ako azeotrop, spravidla s organickým rozpúšťadlom, pričom epoxidačný katalyzátor sa odstraňuje zo surového produktu a s výhodou regeneruje.

Výhodou spôsobu podľa tohto vynálezu je ľahká technická dostupnosť východiskových surovín, možnosť výroby v beztlakových alebo nízkotlakových zariadeniach, vyššie výťažky epoxizlúčenín, ako aj skutočnosť, že výparným teplom oddestilovaného alkoholu, či vody, resp. azeotropov alkoholov a vody s uhľovodíkmi sa technicky nenáročne a účinne odvádza reakčné oxidačné teplo, pričom súčasne sa vykonáva ďalšia technologická operácia, oddeľovanie vedľajších produktov.

Regulovaním tlaku je možné ďalej udržiavať optimálnu teplotu epoxidácie. Pritom sa získajú cenné produkty i medziprodukty pre ďalšie organické syntézy a výroby z dostupných, zatiaľ nie príliš technicky zhodnocovaných východiskových petrochemických surovín. Tak pri výrobe oligomérov eténu, resp. výrobe 1-alkénov oligomerizáciou eténu, pri tzv. Alfol-procese výroby lineárnych primárnych vyšších mastných alkoholov odpadajú pomerne značné kvantá alkénov nad C₂₀, pre ktoré spravidla chýba príťažlivejšie využitie.

Okrem toho, oligoméry, či pomerne nízkomolekulárne polyméry a kopolyméry možno ľahko vyrábať nielen z rafinovaných, ale aj prakticky technických alkénov C₂ až C₅ a konjugovaných diénov C₄ až C₅, individuálnych i zmesí alkénov a diénov, tiež v zmesi s inými nasýtenými a prípadne i nenasýtenými uhľovodíkmi s využitím lacných kationových, aniónových alebo komplexných katalyzátorov, radikálových iniciátorov ap.

Z organických hydroperoxidov sú vhodné hlavne terciálny butylhydroperoxid, terciálny amylhydroperoxid, etylbenzénhydroperoxid, kuménhydroperoxid, menej sú vhodné viac molekulárne hydroperoxydy, lebo z nich vytvárané odpovedajúce alkoholy



nie je možné technicky jednoduchým spôsobom v uvedenom tlakovom rozsahu a pri približne optimálnej teplote epoxidácie kontinuálne z reakčného prostredia odstraňovať. Potreba značných množstiev prísad rozpúšťadiel na vytvorenie azeotropu s uvoľňovaným alkoholom tiež podstatne znižuje získanie prednosti spôsobu. Pritom možno využívať známe epoxidačné katalyzátory na báze prvkov a zlúčenín prvkov V.a a VI.a podskupiny periodického systému, z nich však hlavne zlúčeniny molybdénu, vanádu, volfrámu a chrómu. Zo zlúčenín sú to jednak olejorozpustné formy uvedených prvkov, napr. vo forme solí organických kyselín (molybdénnaftenát, molybdénstearát ap.), ktoré sa však z reakčných produktov dosť ťažko odstraňujú, tobôž regenerujú, jednak vo forme kyslíčnikov, sulfidov, a to či už samotných alebo nanesených na nosičoch. Zvlášť zaujímavé sú formy heterogenizovaných epoxidačných katalyzátorov, ako napr. zlúčenín molybdénu nanesené na polymérnych matriciach [Tanieljan S. K. a kol.: *Neftechimija* **18**, 760 (1978)]. Takéto heterogénne alebo heterogenizované epoxidačné katalyzátory, najmä ak majú dostatočný merný povrch, sú zvlášť významné, lebo sa ľahko regenerujú a neznečisťujú produkt.

Ako inertné rozpúšťadlá sú vhodné hlavne také, ktoré vytvárajú azeotropy z organického hydroperoxidu uvoľňovaným alkoholom. Tak, v prípade kuménhydroperoxidu s uvoľňovaným kumylalkoholom vhodný azeotrop vytvára kumén, ktorý súčasne býva aj zriedovadlom kuménhydroperoxidu, v prípade etylbenzénhydroperoxidu etylbenzén, v prípade peroxidu vodíka voda ap.

Celkový tlak epoxidácie závisí obvykle od druhu epoxidačného činidla, ako aj od teploty epoxidácie. V prípade terciálny butylhydroperoxidu je možné pracovať pri atmosferickom tlaku, resp. nepatrne zvýšenom, lebo teplota varu terciálny butylalkoholu pri tlaku okolo 101 kPa (a v epoxidačnom prostredí je trochu vyššia) je takmer totožná s optimálnou pre katalyzovanú epoxidáciu organickými hydroperoxidmi. Pri etylbenzénhydroperoxide, resp. kuménhydroperoxide je zapotreby pracovať pri zníženom tlaku a spravidla ešte s prísadou rozpúšťadiel, potrebných na vytvorenie azeotropu vrúceho v rozsahu optimálnych teplôt 70 až 120 °C, pri epoxidačnom systéme kyselín s peroxidom vodíka 40 až 100 °C. Na epoxidáciu možno pravda použiť aj vopred pripravené organické i anorganické peroxikyseliny, ako kyselinu peroxiactovú, kyselinu peroximravčiu, kyselinu peroxiizomaslovú, kyselinu peroxiboritú ap.

Ďalšie podrobnosti spôsobu výroby podľa tohto vynálezu sú zrejme z príkladov.

Príklad 1

Do trojhrdlej reakčnej nádoby o objeme 500 cm³ opatrenej utesneným miešadlom, teplomerom a spätným chladičom sa naváži 200 g polypropylénového oleja o priemernej molekulovej hmotnosti 495 (brómové číslo = 57,05 g Br₂/100 g; d_4^{20} = 846 kg · m⁻³; na 1 makromolekulu pripadá priemerne 1,77 dvojitej väzby; n_D = 1,4700; viskozita pri 20 °C = 504 mPas; teplota = -1,5 až 42 °C) a vyhreje sa za neustáleho miešania na teplotu 90 °C. Potom sa pridá 1,5 g práškoveho molybdénového oxidu a počas 1 h 120 g terciálneho butylalkoholového roztoku terciálneho butylhydroperoxidu o konc. 61 % hmot. (mol. pomer polypropylénového oleja k terciálnemu butylhydroperoxidu je 1 : 2). Za miešania a refluxovania sa udržiava reakčná zmes ešte počas ďalších 4 h, potom sa ochladí, suspendovaný molybdénový katalyzátor sa odfiltruje a terciálny butylalkohol, ako aj neskonvertovaný terciálny butylhydroperoxid sa vytrepe vodou a oddelí. Epoxidovaný a neskonvertovaný polypropylénový olej sa ešte dočistí na rotačnej odparke. Brómové číslo produktu je 40 g Br₂/100 g, takže konverzia polypropylénového oleja činí 29 %, resp. 52,8 %, ak počítame epoxidovateľnosť jednej dvojitej väzby v makromolekule polypropylénového oleja, konverzia terciálneho butylhydroperoxidu 62,1 % a selektivita na epoxidovaný polypropylénový olej 29,0 %, výťažok epoxidovaného polypropylénového oleja (počítané na epoxidáciu 1 dvojitej väzby) je 20,5 %.

Avšak za inak podobných podmienok, ale s pridávaním terciálneho butylhydroperoxidu prikvapávaním do reakčného prostredia počas 1 h a súčasne oddestilovania terciálneho butylalkoholu pri celkovom tlaku 101,3 kPa (jednak pridávaného spolu s terciálnym butylhydroperoxidom, jednak vytváraného z terciálneho butylhydroperoxidu, hlavne po epoxidácii polypropylénového oleja) a súčasne s jeho oddestilovaním počas ďalších

4 h pri teplote 90 ± 0,5 °C, získaná zmes epoxidovaného a východiskového polypropylénového oleja má brómové číslo 27,1 g Br₂/100 g a obsah epoxyskupín 2,4 %. Konverzia polypropylénového oleja je 52,5 %, resp. 92,8 % (ak sa počíta epoxidovateľnosť 1 dvojitej väzby) a konverzia terciálneho butylhydroperoxidu 87,1 %. Selektivita na epoxidovaný polypropylénový olej je 58,9 %.

Príklad 2

Postupuje sa podobne ako v príklade 1, len s tým rozdielom, že miesto 1,5 g suspendovaného práškoveho oxidu molybdénového ako katalyzátora sa na každý pokus aplikuje po 0,5 g nafténanu molybdénového s obsahom 2,9 % hmot. molybdénu. Ďalej, z produktu epoxidácie sa katalyzátor neregeneruje a celková reakčná doba miesto 5 h je 6 h. Brómové číslo produktu bez oddestilovania terciálneho butylalkoholu je 27,2 a s oddestilovaním 21,7 g Br₂/100 g. Konverzia terciálneho butylalkoholu v prvom prípade je 95 a v druhom 92,3 %. Konverzia polypropylénového oleja bez oddestilovania terciálneho butylalkoholu je 58,3, resp. 92,5 % a s oddestilovaním 62, resp. 109,5 %, pri počítaní epoxidácie 1 dvojitej väzby (z priemerného počtu 1,77) v makromolekule polypropylénového oleja. Obsah epoxyskupín v prvom prípade je 2,19 % a v druhom 3,5. Výťažok epoxidovaného polypropylénového oleja v prípade epoxidácie bez oddestilovania terciálneho butylalkoholu je 49,1 % a s oddestilovaním 79,8 %. Zvyšok do 100 % tvoria hlavne dioly polypropylénového oleja a bližšie neidentifikované kyslíkaté organické zlúčeniny.

Príklad 3

Do trojhrdlej reakčnej nádoby špecifikovanej v príklade 1, opatrenej miesto spätného chladiča vodným chladičom a odlučovačom, pripojeným na olejovú vývevu sa naváži 100 g polypropylénového oleja špecifikovaného v príklade 1 a 1,5 g práškoveho oxidu molybdénového. Potom sa obsah banky za miešania vyhreje na teplotu 90 °C, zapne sa výveva a počas 1 hodiny sa nadávkuje 92,2 g kuménového roztoku kuménhydroperoxidu o konc. 50 % hmot. (mol. pomer polypropylénového oleja ku kuménhydroperoxidu je tak 1 : 1,5). Súčasne pri celkovom tlaku 1,6 kPa oddestilováva azeotrop kuménu s kumylalkoholom. Pri uvedenom tlaku sa ešte reakčná zmes udržiava pri teplote 100 až 110 °C počas ďalších 6 h. Oddestiluje sa 81,3 g zmesi kuménu (46 g) s kumylalkoholom (29 g) a kuménhydroperoxidom (6,3 g); 10,9 g sa odlúči v ochranných zariadeniach vývevy. Pripadný zvyškový kuménhydroperoxid a kumylalkohol sa môže vyprať vodou nasýtenou butanolom.

Brómové číslo produktu je 28,06 g Br₂/100 g a množstvo epoxyskupín 2,51 %. Konverzia kuménhydroperoxidu dosahuje 69,3 % a polypropylénového oleja 50,8 %, resp. 89,8 % a výťažok epoxidovaného polypropylénového oleja (počíta-

né na epoxidáciu 1 dvojitej väzby) je 57 %. Za inak podobných podmienok, ale bez oddestilovania kumylalkoholu, sa dosahuje konverzia polypropylénového oleja len 28,8, resp. 50,9 %.

Príklad 4

Postupuje sa podobne ako v príklade 1, len miesto po 200 g polypropylénového oleja sa použije po 100 g polybuténov, pripravených kationovou polymerizáciou, resp. kopolymerizáciou olefinicky nenasýtených uhľovodíkov takmer odbutadienizovanej pyrolýznej C₄-frakcie (izobutén = 43,58 % hmot.; 1-butén = 33,50 % hmot.; 1,3-butadién = 1,53 % hmot.; cis-2-butén = 2,39 % hmot.; trans-2-butén = 6,8 % hmot.; propén = 0,15 % hmot.; izobután = 2,2 % hmot.; n-bután = 8,49 % hmot.) pri teplote 60 °C podľa čs. aut. osvedčenia č. 193 855. Priemerná mol. hmotnosť polybuténov po rafinácii je 590 a brómové číslo 71,21 g Br₂/100 g. Na 1 makromolekulu tak pripadá priemerne 2,63 dvojitej väzby. Pri epoxidácii pri teplote 90 °C a s terciálnym butylhydroperoxidom ako epoxidačným činidlom a práškovým oxidom molybdénovým pri oddestilovaní terc-butylalkoholu sa dosiahne (brómové číslo = 23,79 g Br₂/100 g) konverzia polybuténov, resp. kopolymerov 66,6 % a bez oddestilovania (brómové číslo = 30,3 g Br₂/100 g) 57,5 %.

Znamená to, že priemerne vychádza na 1 makromolekulu skonvertovaných 1,75 dvojitej väzby v pokusoch s oddestilovaním a 1,51 dvojitej väzby bez oddestilovania terciálneho butylalkoholu.

Príklad 5

Na epoxidáciu sa použije zmes homopolymérov a kopolymerov, pripravená pri teplote 70 °C zo zmesi uhľovodíkov surovej (obsahuje okrem nasýtených uhľovodíkov 34,26 % hmot. 1,3-butadiénu; 25,57 % hmot. izobuténu; 18,35 % hmot. 1-buténu; 3,42 % hmot. cis-2-buténu; 4,6 % hmot. trans-2-buténu; 0,36 % hmot. metylacetylénu a 0,2 % hmot. propénu) a odbutadienizovanej (špecifikovaná v príklade 4) pyrolýznej C₄-frakcie podľa čs. aut. osvedčenia č. 193 855. Priemerná mol. hmotnosť rafinovanej zmesi je 433; brómové číslo = 102,47 g Br₂/100 g; index lomu n_D²⁰ = 1,478.

Na epoxidáciu na zariadení špecifikovanom v príklade 1 sa naväži po 150 g uvedenej zmesi homopolymérov a kopolymerov, po 1,5 g práškového kyslíčnika molybdénového a po 182 g terc-butylalkoholového roztoku terciálneho butylhydroperoxidu o konc. 61 % hmot.

Výsledný molárny pomer homopolymérov a kopolymerov k terciálnemu butylalkoholu je tak 1 : 3,55. Je tomu tak z toho dôvodu, že na 1 makromolekulu pripadá 2,78 dvojitej väzby. Pri teplote 90 °C, tlaku 101 kPa a reakčnej dobe po 5 h inak podobným postupom ako v príklade 1, konverzia terc-butylhydroperoxidu dosiahne v pokuse s oddestilovaním terciálneho butylalkoholu 68,6 % (oddestilováva aj malá časť terciálneho butylhydroperoxidu) a bez oddestilovania 39,6 %. Konverzia dvojítých väzieb zmesi homopolymérov a kopolymerov v prvom prípade dosahuje 59,7 % (brómové číslo produktu = 41,34) a v druhom, bez oddestilovania terciálneho butylalkoholu, 42,1 % (brómové číslo v produkte bez terciálneho butylalkoholu = 59,3 g Br₂/100 g). Znamená to, že v prvom prípade vychádza na 1 makromolekulu skonvertovaných 1,63 a v druhom 1,17 dvojítých väzieb.

Príklad 6

Do trojhrdlej banky o objeme 100 cm³ opatrnej magnetickým miešadlom, špeciálnym deliacim lievikom a vodným chladičom, napojeným cez predlohu na vývevu, sa naväži 40 g polypropylénového oleja špecifikovaného v príklade 1, ďalej 8 g katexu v H-forme (Ostion KS) a 0,4 g kyseliny boritej. Nato sa zapne výveva a obsah banky sa vyhreje za neustáleho miešania na teplotu 70 ± 1 °C. Pri tejto teplote a tlaku 32 ± 1 kPa sa po kvapkách počas 30 min pridá 18,4 g vodného roztoku peroxidu vodíka o konc. 30 % hmot. (mol. pomer polypropylénového oleja k H₂O₂ = 1 : 2). Z reakčného roztoku sa postupne oddestilováva všetka voda. Po 3 h sa pokus preruší. Dosiahne sa konverzia dvojítých väzieb polypropylénového oleja 45,2 % a výtazok epoxidovaného polypropylénového oleja (počítané na epoxidáciu v makromolekule 1 dvojitej väzby) 61,5 %.

PREDMET VYNÁLEZU

Spôsob výroby nasýtených alebo nenasýtených alifatických epoxyzlúčenín s 20 až 80 atómami uhlíka a prípadne odpovedajúcich kyslíkatých zlúčenín epoxidáciou organickými hydroperoxidmi ako sú terciálny butylhydroperoxid, etylbenzénový roztok etylbenzénhydroperoxidu a kuménový roztok kuménhydroperoxidu, za katalytického účinku aspoň jedného z prvkov alebo zlúčením prvkov V. a VI. a podskupiny periodického systému prvkov pri teplote 30 až 160 °C alebo peroxidu vodíka za spolupôsobenia organických alebo anorganických

kyselín a katalyzátorov na báze kationaktívnych iónmeničov alebo aspoň jednej zo zlúčenín bóru, molybdénu, volfrámu, ortuti, bizmutu, antimónu a arzénu, s výhodou heterogénnych alebo heterogenizovaných katalyzátorov, pri teplote 20 až 120 °C, prípadne za prítomnosti inertných rozpúšťadiel, ktoré za podmienok epoxidácie nepodliehajú oxidačným zmenám, najmä cyklohexánu, heptánu, 1,2-dichlóretánu, nasýtených aromatických prípadne alifaticko-aromatických uhľovodíkov, vyznačujúci sa tým, že sa epoxiduje kopolymér

alebo homopolymér alkénov s 2 až 5 atómami uhlíka, pričom jednotlivé zložky v zmesi sú v pomere 0,1 : 1 až 1 : 0,1 hmot. dielov, alebo konjugovaných diénov so 4 až 5 atómami uhlíka obsahujúci priemerne 1 až 4 dvojité väzby v makromolekule, pri celkovom tlaku 0,1 až 200 kPa a celkovom molárnom pomere organického hydroperoxidu

alebo peroxidu vodíka k epoxidovanému homopolyméru alebo kopolyméru 1 až 5 : 1, pričom uvoľňovaný alkohol alebo voda sa odvádzajú samotné alebo ako azeotrop, spravidla s organickým rozpúšťadlom, pričom epoxidačný katalyzátor sa odstraňuje zo surového produktu a s výhodou regeneruje.