UDK: 547.422.2 + 661.183.2

TELOMERLANISH REAKTSIYASIDA SPIRTLAR HOSIL BO‘LISHINING ISTIQBOLLARI: SIKLOGEKSANOL VA YON MAHSULOTLAR SINTEZI

Sh.X.Shakarov
Toshkent Kimyo-texnologiya instituti
S.E. Nurmonov
O‘zbekiston Milliy universiteti
J.U.Abdullayev
O‘zbekiston Milliy universiteti
A.E.Ziyadullayev
Toshkent Kimyo-texnologiya instituti

Annotatsiya.Ushbu maqolada etilenning telomerlanishi asosida siklogeksanol sintezi o‘rganildi. Sintez jarayonlari turli harorat (60–120 °C) va bosim (25–40 atm.) sharoitlarida olib borildi. Eksperiment natijalariga ko‘ra, 120 °C da siklogeksanolning maksimal unumi 65% ni tashkil etdi. Etilenning telomerlanishidan siklogeksanol bilan birgalikda qo‘shimcha ravishda sanoat ahamiyatiga ega yon mahsulotlar -etil atsetat, etil glikolyat,toluol,1,1-dietoksi-etan,di-etoksi-metan va 3-(Oktadeksiloksi)-1,2-propandiol kabilar hosil bo‘lishi aniqlandi. Harorat va bosimning mahsulot tarkibi va unumiga bevosita ta’sir etishi ham o‘rganildi. Ushbu tadqiqot ishi telomerlanish reaksiyalari asosida kislorodli organik birikmalar olishning o‘ziga xos usullarini tavsiflab beradi.

***Kalit so‘zlar*:**telomerlanish, siklogeksanol, etilen, etil spirti, vodorod peroksid, atseton, spirtlar, efirlar, etil atsetat, etil glikolyat, katalitik sintez, bosim, harorat, telomerlar.

Аннотация. В данной статье исследован синтез циклогексанола на основе теломеризации этилена. Процессы синтеза проводились при различных температурах (60–120 °C) и давлениях (25–40 атм). По результатам эксперимента, максимальный выход циклогексанола составил 65% при температуре 120 °C. Наряду с циклогексанолом в реакции теломеризации этилена были также идентифицированы побочные продукты, имеющие промышленное значение: этилацетат, этилгликолят, толуол, 1,1-диэтоксиэтан, диэтоксиметан и 3-(октадецилокси)-1,2-пропандиол. Также была изучена прямая зависимость состава и выхода продуктов от температуры и давления. Данное исследование описывает специфические подходы к получению кислородсодержащих органических соединений на основе реакций теломеризации.

ISSN 3030-3907

Ключевые слова: теломеризация, циклогексанол, этилен, этиловый спирт, перекись водорода, ацетон, спирты, эфиры, этилацетат, этилгликолят, каталитический синтез, давление, температура, теломеры

Abstract: in this work, the cyclohexanol synthesis via telomerization of ethylene was investigated. Syntheses were conducted at different temperatures (60–120 °C) and pressures (25–40 atm). Based on the experimental results, the highest cyclohexanol yield was 65% at 120 °C. Along with cyclohexanol, other industrially valuable by-products in the telomerization of ethylene were identified—namely, ethyl acetate, ethyl glycolate, toluene, 1,1-diethoxyethane, di-ethoxy-methane, and 3-(Octadecyloxy)-1,2-propanediol.

The effect of temperature and pressure on the yield and product composition was also investigated. The current paper details certain procedures for preparing oxygen-containing organic compounds using telomerization reactions.

Key words: telomerization, cyclohexanol, ethylene, ethanol, hydrogen peroxide, acetone, alcohols, ethers, ethyl acetate, ethyl glycolate, catalytic synthesis, pressure, temperature, telomers.

Kirish

Telomerlanish reaksiyalari zamonaviy organik kimyo va kimyo texnologiyasida muhim o‘rin egallaydi. Bu reaksiyalar past molekulali olefinlar, xususan, etilen asosida yuqori reaksion qobiliyatiga ega bo‘lgan normal yoki tarmoqlangan zanjirli hamda siklik birikmalarni olish imkonini beradi. Bunday sintez yo‘li, ayniqsa, polimerlar, emulgatorlar, plastifikatorlar,turli reagentlar va boshqa oraliq moddalarning ishlab chiqarilishida keng qo‘llaniladi. Radikal mexanizm asosida boruvchi telomerlanish reaksiyalari ko‘p hollarda murakkab strukturalarni hosil qilishda muhimdir.

An’anaviy telomerlanish reaksiyalari ko‘pincha yuqori molekulali inert tuzilmalar yoki uglevodorodlar sinteziga yo‘naltirilgan bo‘lsa-da, ba’zi sharoitlarda kislotali yoki oksidlovchi muhit ishtirokida funksional guruhlarga ega bo‘lgan spirtlar, efirlar yoki siklik tuzilmalarning hosil bo‘lishi ehtimoli ham mavjud. Shu bilan birga reaksiya omillarining, xususan, harorat va bosimning reaksiyaning borish yo‘nalishiga va yakuniy mahsulotlar unumiga sezilarli ta’sir ko‘rsatishi kuzatilgan.

Siklogeksanolkabi siklik spirtlar sanoatda keng qo‘llaniladi. U, ayniqsa, kaprolaktam (poliamid-6) sintezida, bo‘yoqlar, erituvchilar va farmatsevtik oraliq mahsulotlar ishlab chiqarishda muhim o‘rin egallaydi. Siklogeksanolning an’anaviy sintezi, odatda, benzenning katalitik gidrogenlanishi yoki sikloalkanlarning oksidlanishidan amalga oshiriladi. Biroq, ushbu ishda etilenning telomerlanishi orqali spirtlar, xususan,siklogeksanol olish imkoniyatio‘rganildi.

ISSN 3030-3907

Tadqiqot davomida reaksiyalar etil spirti, vodorod peroksid, atseton va etilen ishtirokida olib borilib, turli harorat (60–120 °C) va bosim (25–40 atm) sharoitlarida mahsulotlarning hosil bo‘lishi va ularning unumiga ta’sir etuvchi omillar o‘rganildi. Mass-spektr tahlili orqali asosiy mahsulot sifatida siklageksanol aniqlanib, uning hosil bo‘lishida optimal harorat 120 °C da qayd etildi. Shuningdek, reaksion muhitda etil atsetat va etilglikolyatkabi efirlarguruhiga mansub mahsulotlar ham aniqlanib, bu telomerlanish reaksiyasining yon yo‘nalishlari orqali ham muhim ahamiyatli moddalarning hosil bo‘lishini tasdiqlaydi.

Tadqiqotning maqsadi –etilenning telomerlanish sharoitida siklogeksanol sintezining imkoniyatlarini aniqlash, reaksion sharoitlarning mahsulot tarkibi va unumiga ta’sirini tahlil qilish hamda hosil bo‘lgan mahsulotlarning amaliy ahamiyatini baholash hisoblanadi.

Telomerlanish reaksiyasi past bosimli zanjirli radikal polimerlanish reaksiyasiga yaqin bo‘lib, unda monomerga nisbatan telogenning ortiqcha miqdorda bo‘lishi, mahsulotda ma’lum funksional guruhlarningsaqlanishi, polimerlarning o‘ziga xos xossalariga ega past molekulali moddalarning olinishi bilan ahamiyatlidir[1]. Etilen molekulasi oddiy tuzilishga ega bo‘lishiga qaramay undan yuqori reaksion qobiliyatiga ega bo‘lgan muhim ahamiyatli mahsulotlar olish mumkin. Telomerlanish jarayoni asosida karbon kislotasi, spirtlar, efirlar, aminlar va boshqa ko‘plab moddalarning sintezi ilmiy manbalarda yoritilgan[2]. So‘nggi yillarda ilmiy adabiyotlarda telomerlanish reaksiyalarining faqat polimerlarga emas, balki past molekulali funksional birikmalar - spirtlar, efirlarga olib boruvchi potentsiali borligi ham ko‘rsatilgan. Jumladan, vodorod peroksid va etanol aralashmasi ishtirokida olib borilgan etilenning telomerlanish reaksiyasida C_6–C_8 gacha bo‘lgan spirtlar va oddiy efirlar aniqlangan [3].

Siklogeksanol sanoatda muhim spirt bo‘lib, uni telomerlanish orqali olish adabiyotlarda nazariy jihatdan yoritilgan. Etilenning radikal reaksiyalarining qisman halqa hosil qiluvchi bosqichlari orqali siklik birikmalar hosil bo‘lishi mumkinligini nazariy model asosida ko‘rsatib o‘tilgan [4]. Telomerlanish asosida siklik hosilalarning olinishi alohida mexanizmlar orqali kuzatilgan bo‘lib, bunda gidrofob muhit va nisbatan yuqori bosim sharoitlari muhim omil bo‘lgan [7].

Telomerlanish reaksiyalarida reaksion muhit sharoiti, ya’ni harorat, bosim, reaktivlarning nisbati mahsulot turiga sezilarli darajada ta’sir ko‘rsatadi. 60–120 °C haroratda olib borilgan telomerlanishda mahsulotlarning zichligi, molekulyar og‘irligi va funksional guruhlar soni o‘zgarishi mumkin [5]. Boshqa tadqiqotlarda bosimning telomerlarning zanjir uzunligiga bevosita ta’siri borligi, ayniqsa, Pdasosli katalizatorlar ishlatilganda namoyon bo‘lishi mumkin [8].

ISSN 3030-3907

Bundan tashqari, spirtlar ishtirokida olib borilgan telomerlanish reaksiyalarida murakkab va oddiy efirlar hosil bo‘lishi kuzatiladi. Etil atsetat va etil glikolyat kabi birikmalar reaksion muhitda mavjud bo‘lgan etanol va karbonil komponentlar bilan yon reaksiyalar orqali shakllanishi mumkin. Vodorod peroksid bilan olib borilgan telomerlanish reaksiyasidaetil glikolyat ham barqaror mahsulot sifatida hosil bo‘lgan [6].

Toluol va boshqa aromatik birikmalarning telomerlanishda hosil bo‘lishi haqida Terent’ev va boshqalar tomonidan olib borilgan ishlarda aromatik substratlar ishtirokida zanjir uzilishi mexanizmi qayd etilgan [9]. Palladiy katalizatorlari ishtirokida olib borilgan boshqa telomerlanish tajribalarida ham etanol, butanol, va boshqa spirtlar ishtirokida spirt-efir hosilalari olingan [10].

Yuqoridagi tadqiqotlardan farqli o‘laroq, ushbu ishda etilenning telomerlanish reaksiyasi olib borilib, bir vaqtning o‘zida siklogeksanol, etil atsetat, va etil glikolyat mahsulotlarining shakllanishi aniqlandi.

Tajriba qism. Tajribalar yopiq sistemali, bosimga chidamli laboratoriya reaktorida amalga oshirildi. Reaktor hajmi 500 ml bo‘lib, yuqori bosim sharoitida xavfsiz ishlash imkonini beruvchi mexanik mustahkamlikka ega. Reaktorning ustki qismiga tashqi motor orqali boshqariladigan aralashtirgich o‘rnatilgan bo‘lib, u reaksiya davomida doimiy aylanishda bo‘ladi. Aralashtirish orqali gaz va suyuqlik fazalari o‘rtasidagi kontakt yuzasi maksimal darajaga yetkazildi.

Reaksiyalar uchun asosiy dastlabki modda sifatida etilen (C_2H_4) ishlatildi. Etilen reaktorga 25–40 atm bosim oralig‘ida klapan orqali yuborildi. Reaksion muhitga dastlab 96% etil spirti (etanol) quyildi. Ushbu komponent reaksiya uchun erituvchi, zanjir uzuvchi (telogen) va efirlar hosil bo‘lishida asosiy reagent sifatida xizmat qildi.

Ishda metall asosli katalizatorlaro‘rniga vodorod peroksid (H_2O_2) va atseton aralashmasi qo‘shildi. Ushbu aralashma arzon, ekologik xavfsiz va kislorodli reaktiv muhit yaratish maqsadida tanlandi. Reaksiyalarningradikal mexanizm asosida borishidabu reagentlarningroli muhimdir.

Tajribalar 60, 80, 100 va 120 °C haroratda, 25–40 atm bosimda,5–10 soat davomida olib borildi. Harorat nazorati maxsus tashqi isitgich va termoparalar orqali boshqarib turildi. Har bir parametr kombinatsiyasi uchun alohida tajriba o‘tkazilib, natijalar mass-spektr yordamida tahlil qilindi.

Hosil bo‘lgan mahsulotlar dastlab sovitilib, filtratsiyadan o‘tkazildi. So‘ngra ularning tarkibi gaz xromatografiyasi-mass spektrometriya (GC-MS) yordamida tahlil qilindi. Natijalarga ko‘ra, asosiy mahsulot sifatida siklogeksanol aniqlangan bo‘lib, uning maksimal unumi 120 °C haroratda qayd etildi.

ISSN 3030-3907

Bundan tashqari, bir necha yon mahsulotlar ham qayd etildi. Ular quyidagilardan iborat:

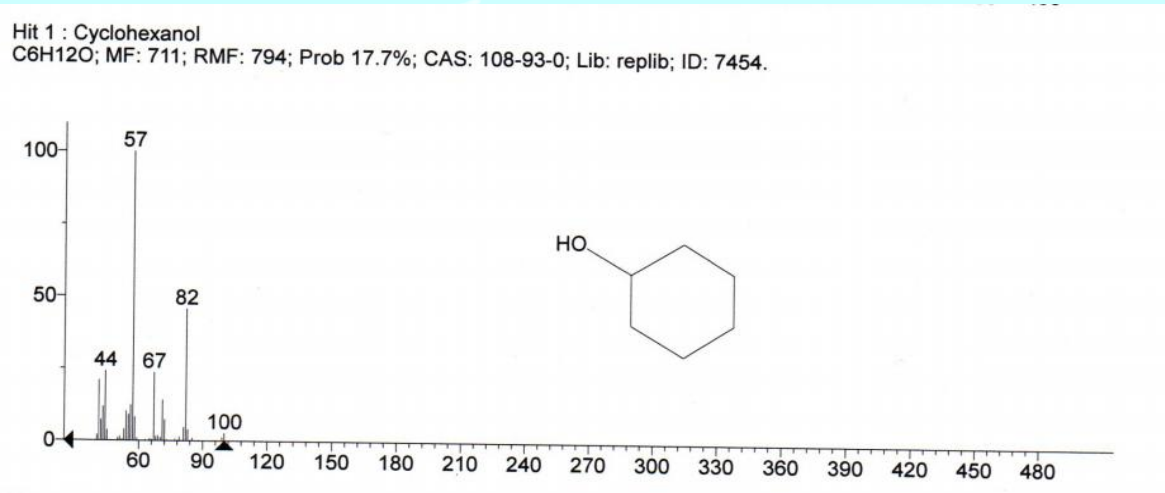
- Etil atsetat- etanol va atseton ishtirokida hosil bo‘lgan.
- Etil glikolyat- kislorodli muhitda etanolning karbonil birikma bilan reaksiyasi mahsuloti.
- 1,1-Dietoksi etan va dietoksi metan– telomerlanish muhitidagi oddiy efir, telomerlar hosil bo‘lishi natijasi sifatida qaraladi.
- Toluol– aromatik strukturalarning shakllanishi orqali yoki radikal telomerlanish orqali yuzaga kelgan.
- 3-(Oktadeksiloksi)-1,2-propandiol– murakkab struktura, barqaror efir hosila, katalitik muhitdagi yon yo‘nalish mahsuloti sifatida hosil bo‘lgan.

Har bir reaksiyadan olingan natijalar bo‘yicha mahsulotlarning nisbiy unumlari tahlil qilindi. Olingan ma’lumotlar asosida harorat va bosimning mahsulotlar tarkibi hamdasamaradorligiga ta’siri grafik shaklida ifodalandi.

Asosiy mahsulot - siklogeksanolning spektr tahlili

Reaksion sharoitlarda eng barqaror va ishonchli sintez qilingan asosiy mahsulot bu siklogeksanol bo‘ldi. GC-MS mass-spektr tahliliga ko‘ra bu modda 120 °C haroratda va 34 atm. bosimda o‘tkazilgan tajribada eng yaqqol va yuqori unum bilan (65%) hosil bo‘lganligi aniqlangan.

Mass-spektrda asosiy molekulyar ion m/z = 100 [M^+] bo‘yicha qayd etilgan bo‘lib, bu siklogeksanol ($C_6H_{12}O$) molekulasining umumiy massasiga to‘g‘ri keladi. Fragmentatsiya yo‘li bilan m/z = 82 (suv ajralganda), m/z = 57 va 44 kabi signal nuqtalari aniqlanib, bu bo‘laklar aynan siklogeksanoldan hosil bo‘lganliginiko‘rsatadi.



1-Rasm. Siklogeksanolning GC-MS mass-spektri

Yon mahsulotlarning umumiy spektr tahlili

Reaksion muhitda siklogeksanolga qo‘shimcha ravishda bir qator organik birikmalar hosil bo‘ldi. Ular orasida oddiy va murakkabefirlar, aromatik birikmalar

ISSN 3030-3907

mavjud. Har bir modda har xil haroratlarda kuzatilgan bo‘lib, jadvalda ular mass-spektr parametrlari va kelib chiqish xarakterlari bilan keltirilgan(1-jadval).

1-Jadval.

Yon mahsulotlar mass-spektr natijalari

№	Modda nomi	RT (min)	Asosiy m/z	Izoh (kelib chiqishi va strukturaviy xarakteri)
1	**Etil atsetat**	3.127	88	Etanol va atsetonning o‘zaro ta’siridan hosil bo‘lgan efir
2	**Etil glikolyat**	2.028	104	Glikolyat tuzilmasining kislorodli muhitda eterifikatsiyasi
3	**1.1-Dietoksi etan**	5.890	118	Etanol ishtirokidagi telomerlanishdan hosil bo‘lgan
4	**Dietoksi metan**	4.736	104	Yon mahsulot, kam konsentratsiyada qayd etilgan
5	**Toluol**	6.732	92	80 °C da aniqlangan aromatik substrat
6	**3-(Oktadeksiloksi)-1,2-propandiol**	14.003	~414	Yon yo‘nalishda shakllangan oddiy efir

Moddalarning har biri reaksion jarayon davomida mass-spektrometrik tahlil orqali qayd etilgan bo‘lib, asosiy mahsulot sifatida ular orasida eng barqaror va yuqori unum bilan aniqlanganisiklogeksanoldir. Qolgan mahsulotlar -etil atsetat, etil glikolyat, oddiy efirlar va toluol reaksion muhitdagi yon reaksiya yo‘nalishlarini ko‘rsatadi.

Har bir modda tahlil uchun eng aniqlikda chiqqan holat asosida tanlab tavsiflangan bo‘lib, bu ilmiy asosli va metodik jihatdan maqbul yondashuvdir. Bunday uslub moddalarning reaksiya natijasida hosil bo‘lganligini tasdiqlaydi.

Tajribalar davomida siklogeksanolning sintez unumiga harorat va bosimning sezilarli ta’siri kuzatildi. Mass-spektr tahliliga asoslanib, har bir haroratda hosil bo‘lgan mahsulotlarning nisbiy miqdori quyidagi jadvalda aks ettirilgan (2-jadval).

2-Jadval.

Siklogeksanol unumi harorat va bosimga bog‘liqligi

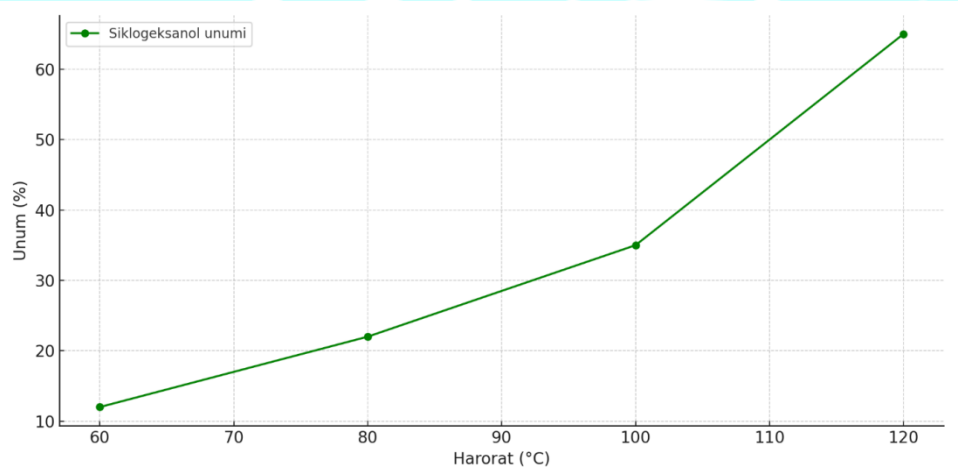
Harorat (°C)	Bosim (atm)	Siklogeksanol unumi (%)
60	25	12
80	28	22
100	30	37
120	34	65

ISSN 3030-3907

Jadvaldan ko‘rinib turibdiki, harorat oshgan sari siklogeksanolning hosil bo‘lish darajasi sezilarli darajada ortgan. Ayniqsa, 100 °C dan 120 °C gacha bo‘lgan oraliqda o‘sish keskin, bu esa reaksiya kinetikasining yuqori haroratdafaollashganiniko‘rsatadi.

Shu bilan birga, bosimning ortishi (25-40 atm) gaz fazadagi etilenning suyuqlikdagi eruvchanligini oshirgan bo‘lib, bu esa telomerlanish uchun qulay sharoit yaratgan.

Shunday qilib, siklogeksanol sintezining optimal sharoiti 120 °C harorat va 34 atm. bosimekanligi aniqlangan bo‘lib, bu parametrlar asosiy mahsulot unumini maksimal darajaga yetkazgan.



2-Rasm. Siklogeksanol unumiga haroratning bog‘liqligi

Yon mahsulotlar tahlili

Reaksion muhitda siklogeksanol asosiy mahsulot sifatida ajralib chiqqan bo‘lsa-da, jarayon davomida bir nechta muhim yon mahsulotlar ham hosil bo‘ldi. Bular kimyosanoatda keng qo‘llaniladigan va tijorat ahamiyatiga ega moddalardir. Ularning hosil bo‘lishi asosan harorat va bosim kabi omillarga bog‘liq bo‘lib, har bir modda ma’lum sharoitda maksimal unum bilan sintez qilinadi.

Quyidagi jadvalda (3-jadval) bu moddalar haroratga nisbatan qanday unumda hosil bo‘lganligi ko‘rsatilgan. Bu orqali reaksion sharoitlar o‘zgarishi mahsulot tarkibi va yo‘nalishiga qanday ta’sir ko‘rsatganligi tahlil qilindi.

3-Jadval

Yon mahsulotlar unumining harorat va bosimga bog‘liqligi

Modda nomi	60 °C	80 °C	100 °C	120 °C
Etil atsetat	10%	18%	25%	17%
Etil glikolat	6%	14%	20%	19%
1.1-di-etoksi etan	3%	8%	9%	6%
Di-etoksi metan	2%	6%	7%	5%

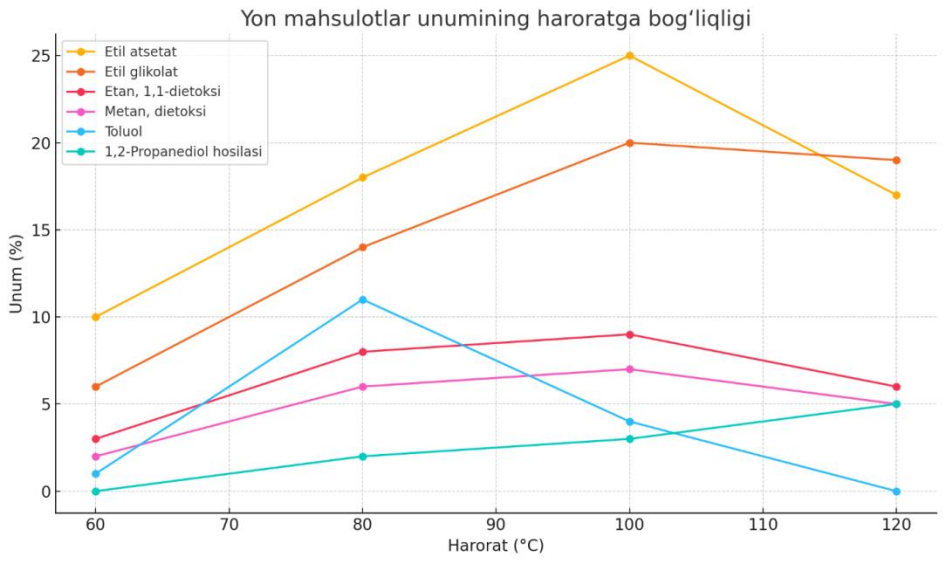
ISSN 3030-3907

Toluol	1%	11%	4%	0%
3-(Oktadeksiloksi)-1,2-propandiol	0%	2%	3%	5%

Etilatsetat va etil glikolyat mahsulotlari 100 °C haroratda eng yuqoriunumda qayd etildi, bu esa eterifikatsiya va kislorodli muhitda oksidlanish jarayonlarining aynan shu oraliqda eng faol kechganini bildiradi.

Toluol esa faqat 80 °C atrofida aniqlangan bo‘lib, bu aromatik strukturalarning shakllanishi uchun nisbatan pastroq harorat sharoitlari qulayligini ko‘rsatadi.

1,2-Propandiol hosilasi esa yuqori harorat (120 °C) va bosimda yuzaga kelgan yon yo‘nalish mahsuloti bo‘lib, unumi past bo‘lsa-da, ishonchlitahlil usullari bilan aniqlangan.



3-Rasm. Yon mahsulotlar unumining haroratga bog‘liqligi

Asosiy va yon mahsulotlarning har xil parametrlar orqali o‘zgarishining umumiy tasnifi

- Siklogeksanol hosil bo‘lishi haroratga bog‘liq bo‘ladi. Harorat oshgan sari moddaning hosil bo‘lish miqdori ham ortib boradi. Eng ko‘p siklogeksanol 120 °C haroratda olingan.
- Yon mahsulotlar esa har xil haroratlarda optimal shakllangan bo‘lib, ularning chiqishi reaksiya muhitidagi kinetik va energetik farqlarga bog‘liq.
- Tahlil shuni ko‘rsatadiki, reaksiya bir yo‘nalishda bormagan- harorat va bosim parametrlarini o‘zgartirish orqali turli sinfdagi moddalarni maqsadli olish mumkin.

Mazkur tadqiqotda etilenning telomerlanishi asosida siklogeksanol va unga yondosh mahsulotlarning laboratoriya sharoitida hosil bo‘lish imkoniyatlari

ISSN 3030-3907

o‘rganildi. Reaksiya yuqori bosimga chidamli yopiq sistemali reaktorda, har xil harorat va bosim sharoitlarida, etanol, atseton va vodorod peroksid ishtirokida olib borildi. Olingan mahsulotlar GC-MS orqali tahlil qilindi va ularning tarkibi, struktura tuzilishlari va chiqish unumlari aniqlandi.

Tahlil natijalari shuni ko‘rsatdiki, siklogeksanol mahsuloti barcha reaksion sharoitlarda sintezlangan bo‘lib, ayniqsa 120 °C harorat va 34 atm. bosimda uning unumi eng yuqori bo‘ldi. Bu holat telomerlanish reaksiyasi sharoitlarining sikogeksanol hosil bo‘lishiga imkon berishini eksperimental tarzda tasdiqlaydi. Reaksion muhitda qo‘shimcha ravishda etil atsetat, etil glikolyat, 1.1-di-etoksi etan, di-etoksi metan, toluol va 1,2-propandiol hosilasi kabi birikmalar ham kuzatildi. Bu esa reaksiya davomida bir nechta yo‘nalishda sintez jarayoni kechganini, xususan, eterifikatsiya, oksidlanish reaksiyalari natijasidayon mahsulotlar shakllanishi ehtimoli mavjudligini ko‘rsatadi.

Harorat va bosim parametrlarining mahsulotlar unumiga sezilarli ta’siri aniqlangan bo‘lib, yuqori haroratlarda asosiy mahsulot unumining ortishi va ayrim yon mahsulotlarning maksimal chiqishi har xil sharoitlarda reaksiya mexanizmlarining faollashishini isbotlaydi. Ayniqsa, 80–120 °C oralig‘ida turli sinfdagi birikmalarning kuzatilishi reaksion muhitning murakkabligi va telomerlanishning ko‘p yo‘nalishli xarakterini ko‘rsatdi.

Yakuniy natijalar shuni tasdiqlaydiki, katalizatorsiz, ekologik xavfsiz reagentlar ishtirokida olib borilgan telomerlanish reaksiyasi orqali siklogeksanol va unga strukturaviy yaqin bo‘lgan funksional birikmalarni olish mumkin. Bu esa ushbu sintez yo‘nalishining sanoat va ilmiy maqsadlar uchun amaliy ahamiyatga ega ekanini ko‘rsatadi.

Foydalanilgan adabiyotlar ro‘yxati

1. Behr, A., Neubert, P., &Brehme. *Telomerization: Advances and Applications of a Versatile Reaction*. AngewandteChemie International Edition. (2009).
2. Wang, Y., Zhang, X., & Li, H. *Selective Synthesis of Alcohols via Ethylene Telomerization*. Chemical Communications. (2018).
3. Chaudhary, A., Gusev, A., &Terent'ev, A. B*Theoretical Approach to Cyclic Product Formation in Radical Telomerization*. Russian Chemical Bulletin. . (2020).
4. Zhang,X.,Li,H.,&Wang, Y.*Effects of Temperature on Radical Telomerization Products*. Industrial & Engineering Chemistry Research. 2015

ISSN 3030-3907

5. Li, H., Zhang, X., & Wang, Y. *Formation of Ethyl Glycolate in Peroxide-Based Telomerization Media*. Journal of Molecular Catalysis A: Chemical. (2022).
6. Smutny, E. J. *Oligomerization and Dimerization of Butadiene under Homogeneous Catalysis*. Journal of the American Chemical Society. (1967).
7. Palkovits, R., Parvulescu, A. N., Hausoul, P. J. C., Kruithof, C. A., Klein Gebbink, R. J. M., &Weckhuysen, B. M. *Telomerization of 1,3-Butadiene with Various Alcohols by Pd/TOMPP Catalysts*. Green Chemistry. (2009).
8. Terent'ev, A. B., Frolov, A. N., &Zolotukhin, M. G. *Chain Transfer Constants in the Telomerization of Ethylene by Methyltrichloroacetate*. Bulletin of the Academy of Sciences of the USSR, Division of Chemical Science. (1971).
9. Takahashi, S., Shibano, T., &Hagihara, N. *The Dimerization of Butadiene by Palladium Complex Catalysts*. Tetrahedron Letters. (1967).
10. Bruijnincx, P. C. A., Jastrzebski, R., Hausoul, P. J. C., Klein Gebbink, R. J. M., &Weckhuysen, B. M. *Pd-Catalyzed Telomerization of 1,3-Dienes with Multifunctional Renewable Substrates*. Topics in Organometallic Chemistry. (2010).

ISSN 3030-3907