

Наставно-научном већу Хемијског факултета

Универзитет у Београду ХЕМИЈСКИ ФАКУЛТЕТ			
ПРИМЉЕНО:		04-02-2026	
Орг. јед.	Број	Прилог	Вредности
	277/3		

Поштоване колеге,

Одлуком Наставно-научног већа Универзитета у Београду – Хемијског факултета бр. 277/2, од 10. априла 2025. године, одређен сам за једног од рецензената књиге ОРГАНСКЕ СИНТЕЗЕ СА МЕХАНИСТИЧКИМ ОСНОВАМА – 2. ДЕО, аутора др Филипа Бихеловића, ванредног професора. О књизи подносим следећи извештај:

Наука и уметност органске синтезе развија се брзо и континуално, што обухвата откриће нових и развој постојећих реакција, нове експерименталне технике, растући удео информатике у планирању и реализацији органских синтеза, као и многе друге аспекте који доприносе промени „пејзажа“ ове истраживачке области. Стога се, после 20 година коришћења уџбеника ОРГАНСКЕ СИНТЕЗЕ, професора Живорада Чековића, који је обележио једну епоху у развоју и предавањима ове научне области на Хемијском факултету у Београду, појавила потреба за новим уџбеником који би одговорио захтевима савремених курсева ОРГАНСКЕ СИНТЕЗЕ 1 и 2, које студенти слушају на 3. и 4. години студија. Књиге др Филипа Бихеловића: ОРГАНСКЕ СИНТЕЗЕ СА МЕХАНИСТИЧКИМ ОСНОВАМА – 1. ДЕО, као и 2. ДЕО истоимене едиције, од којих је први том овог двотомног издања посвећен трансформацијама функционалних група, а други стварању веза угљеник-угљеник, у пуној мери испуњавају овај захтев. Ова подела учињена је због обимности материјала и прилагођавања курсевима на Хемијском факултету (раније двосеместрални предмет ОРГАНСКЕ СИНТЕЗЕ у време болоњске реформе раздвојен је на два курса: ОРГАНСКЕ СИНТЕЗЕ 1 и 2) и није сасвим стриктна.

Ова рецензија односи се на други том: ОРГАНСКЕ СИНТЕЗЕ СА МЕХАНИСТИЧКИМ ОСНОВАМА – 2. ДЕО. Књига је написана на 739 страна (формат Б5, величина фонта 10) и обухвата једанаест тематских поглавља (7. Реакције органометалних једињења; 8. Хемија енолата; 9. Реакције алкиловања енолата; 10. Реакције ациловања енолата; 11. Алдолне реакције; 12. Хемија илида и реакције олефиновања; 13. Ароматичне супституције; 14. Перицикличне реакције; 15. Молекулска премештања; 16. Слободно-радикалске реакције; 17. Завршни део). Поред тога, постоје и следећи одељци: Предговор, Списак скраћеница, Индекс појмова и Индекс именованих реакција и реагенса.

Књига започиње поглављем 7 (бројеви поглавља настављају се на први том издања), у коме је обрађено стварање везе угљеник-угљеник применом органометалних једињења. Ове реакције класификоване су у две групе, од којих прву чине реакције у којима се стварање везе заснива на нуклеофилном карактеру органског лиганда везаног за метал (реакције Грињаревог реагенса, органолитијумових и органоцинкових једињења). На око 40 страна приказане су све важније реакције ових реагенса, са примерима њихове синтетичке примене, уз поједине специфичне аспекте реактивности, потенцијално корисне у синтези (нпр. „турбо-Грињар, литиовање дириговано близином хетероатома и др). Другу групу чине реакције прелазних метала, чији механизми обухватају комбинације основних реакција карактеристичних за метале од титанове до никлове тријаде у периодном систему елемената. Овде је своје место нашао и бакар, који се по неким критеријумима може сматрати прелазним металом, иако се његове најважније реакције – 1,4-адиције – традиционално разматрају паралелно са реакцијама Грињарових и органолитијумових реагенса. Преглед започиње кратким приказом основа реактивности прелазних метала, а

наставља се представљањем најважнијих реакција изабраних прелазних метала: бакра (1,4-адисије, отварање епоксида и укрштена купловања; нажалост, нису поменуте реакције карбена, можда зато што је аутор дао предност аналогним реакцијама родијума), паладијума (Хекова реакција, укрштена купловања), рутенијума (реакција измене алкена и алкина) и родијума (карбониловање и реакције карбена). Логички осмишљен приказ, поткрепљен релевантним примерима из савремене синтетичке праксе, као и адекватним референцама (166 у овом поглављу) омогућавају читаоцу да стекне добар увид у стање у овој области и њен значај у савременој органској синтези.

Алкиловања ациловања и алдолне реакције (са својим варијантама) представљају „класичне“ реакције органске синтезе, значајне не само због свог синтетичког потенцијала, већ и могућности да се на њиховом примеру сагледа логика реактивности органских једињења и синтетичке експлоатације ових феномена. Но да би се овладало овом проблематиком, потребно је претходно добро разумети структуру и реактивност кључних реактивних интермедијера – енолата. Ова проблематика обрађује се у Поглављу 8, где су приказани фактори који утичу на киселост органских једињења, механизам и методе депротоновања, однос структуре и реактивности енолата, као и просторно-геометријски аспекти њихове реактивности. Ово поглавље је одлична припрема за информације које читаоца чекају у наредна три поглавља, а представљају и део „опште културе“ органског хемичара.

Дуг је пут од разумевања реактивности енолата до конкретне примене ових интермедијера у ефикасној синтези сложених једињења. Коришћење различитих класа органских једињења за реакције алкиловања обухвата бројне механистичке специфичности и медотолошке варијанте, које чине разлику између успеха и неуспеха. У поглављу 9 *Реакције алкиловања енола*, приказане су реакције алкиловања различитих класа проенолата: кетона, алдехида, естара, амида, дианјона карбоксилних киселина, као и активних (двоструко активираних) метиленских једињења, попут малоната, ацетоацетата, 1,3-дикетона и других. Реакцијама алиловања посвећено је посебно потпоглавље: 9.8 *Реакције алиловања*. Заиста, алил-халогениди спадају у посебно реактивне електрофиле (заједно са бензилним халогенидима, метил-јодидом, или α -халоестрима, *inter alia*), а бројна могућности њихових даљих трансформација чине их важним реагенсима о којима треба рећи нешто више. Међутим, у овом поглављу пажња је посвећена алкиловању помоћу π -алилпаладијумових комплекса, што је свакако важно поглавље, али коме је место пре међу осталим реакцијама прелазних метала, у поглављу 7. Следе потпоглавља посвећена Мајкловој адисији, као и алкиловању цијанидног и ацетилидног јона. Велики број добро одабраних примера, сваки повезан са одговарајућом референцом (у овом поглављу 193, од којих неке датирају из 2024. године) гарантују адекватан приказ ове важне области.

Наредно поглавље 10 *Реакције ациловање енола*, природно се надовезује на претходно. Описана су ациловања естара и кетона, како под термодинамичким, тако и под кинетичким условима (реакције преформираних енолата). Адекватна пажња посвећена је Дикмановој и Торп-Циглеровој кондензацији, које спадају међу најважније методе за добијање обичних циклоалканона. Описана су и ациловања енамина, као и ациловања у киселим условима.

Поглавље 11 посвећено је једној од најважнијих реакција у органској синтези – алдолној реакцији. Јасно је да се овако обимна проблематика не може екстензивно приказати у уџбенику општег карактера, већ је дат концизан преглед алдолизација, прво под термодинамичким условима

(коришћењем базних и киселих катализатора), а затим и диригованих алдолних реакција, што обухвата реакције преформираних енолата и Мукајамину реакцију. Укључивање Морита-Бејлиса-Хилманове реакције у ово поглавље – упркос проблему спорости који још увек ограничава њену ширу примену – представља користан подстицај читаоцу да размисли о алтернативним начинима генерисања енолата и тактичким комбинацијама алдолних и других реакција. Поглавље закључује кратак приказ Манихове реакције (под кинетичким и термодинамичким условима), са илустрацијама синтетичке примене могуће конверзије Манихових производа у еноне.

Ограничења алдолне кондензације као методе стварања $C=C$ веза превазиђена су применом фосфорних илида, којима је посвећен највећи део поглавља 12 *Хемија илида и реакције олефиновања*. Њихов овде дат приказ омогућава читаоцу да се упозна са различитим типовима илида (и њима сродних једињења, нпр. фосфоната), њиховим особинама, добијањем и реакцијама. Приказане су практично све најважније варијанте и модификације реагенса на бази илида, који омогућавају оптимизацију процеса олефиновања и контролу геометрије новонастале $C=C$ везе. Посебно су приказане реакције сумпорних илида и њихова примена у синтези епоксида и циклопропана. Поглавље се затим наставља приказом Патерсоновог, Жулијиног (и Жулиа-Кочинскијевог), Теберовог, Петазисовог и Такаијевог алкениловања. При томе је показана концизност примерена карактеру текста, из кога читалац може довољно сазнати да би наставио самостално трагање у литератури за допунским информацијама.

Ароматичне супституције изучаване су од самих почетака органске синтезе. Механизми ових реакција, утицај супституената и методе остваривања региоселективности (т.ј. позиционе контроле) слични су за реакције увођења функционалних група и стварање $C-C$ везе, што оправдава њихов заједнички третман у поглављу 13 *Ароматичне супституције*. Приказане су како електрофилне ароматичне супституције (које су у већој мери познате просечном читаоцу), тако и нуклеофилне, са којима су се студенти хемије ређе сретали. Приказ обухвата механистичке основе ових реакција, а затим и низ разноврсних примера синтетичке примене. У овом поглављу су приказане и реакције Бухволд-Хартвиговог и Улмановог купловања, што је изненађујуће: мада је формални тип трансформације супституција одлазеће групе на ароматичном језгру, механизам ових трансформација недвосмислено обухвата укрштено купловање, па би их тамо требало и приказати. И ово поглавље је минuciозно покривено литературом: са преко 200 референци, које обухватају период од прве половине 20. века, па све до наших дана, обезбеђен је адекватан приказ како основа, тако и савремених достигнућа у овој области.

Перицикличне реакције спадају у најважније реакције у органској хемији. Једновремено настајање две везе, могућност настанка угаоно напетих и тополошки сложених система, висока стереоселективност, често и стереоспецифичност, чине их изузетно значајним у органској синтези. Поред тога, објашњење механизма ових реакција, које се заснива на симетријским аспектима молекулских орбитала – Вудворд-Хофманова селекциона правила – спада у најбриљантнија научна открића свих времена. Па ипак, стекао сам утисак да студенти Хемијског факултета нису у пуној мери овладали знањем из ове области, можда и због тога што су, у постојећој уџбеничкој литератури, приказане у ограниченом обиму. Поглавље 14 *Перицикличне реакције*, написано на преко 100 страна, омогућава читаоцу знатно потпунији увид у ову проблематику, него што је то до сада било могуће. Богатство и разноврсност перицикличних реакција не могу се разумети без познавања њихових механизма, односно симетријских аспеката перицикличне реактивности, чему је посвећено првих 10 страна овог поглавља. У наставку су описане основне класе перицикличних

реакција: електроциклизације, циклоадиције, хелетропне и енске реакције, али не и сигматропна премештања, којима је, према механистичким критеријумима, свакако овде место, али која су уврштена у поглавље 15 *Молекулска ђремешћања*. Кратак приказ електроциклизација обухвата термичке и фотохемијске 4 π -електроциклизације 1,3-диена, Назаровљеву циклизацију, 6 π -електроциклизације, као и два импресивна примера 8 π -електроциклизација, која илуструју њихову синтетичку примену. Разумљиво, навећи простор посвећен је циклоадицијама, које су, са синтетичког становишта, свакако најважније перицикличне реакције. У оквиру [4+2]-циклоадиција, највише пажње посвећено је Дилс-Алдеровој (ДА) реакцији, где су описане варијанте са нормалним и инверзним електронским захтевима, хетеро-ДА варијанте, стереохемијски аспекти ДА-реакције и њена правила, интер- и интрамолекулска ДА, методе убрзања реакције, ретро-ДА, као и енантоселективне ДА. Преглед [4+2]-циклоадиција обухвата и 1,3-диполарне циклоадиције: после излагања механистичких основа, дат је приказ најважнијих дипола и њихових синтетички корисних реакција (карбонил-илиди, азометински илиди, нитрони, нитрил-оксиди и азиди). У оквиру овог потпоглавља поменуте су и клик-реакције ацетилида и азида катализоване бакром: мада механистички не спадају у ову групу реакција, дају исти тип производа, а читалац ће их интуитивно потражити у овом поглављу, што оправдава примењену класификацију. Потпоглавље о [4+2]-циклоадицијама закључено је приказом (4+3) циклоадиција. Следи потпоглавље о [4+2]-циклоадицијама, које обухвата термичке и фотохемијске реакције. У првој групи приказане су реакције кетена, а у другој – фотоциклоадиције алкена, као и Патерно-Бухијева реакција. Оба потпоглавља садрже механистичке основе приказаних трансформација, а затим и примере који илуструју њихову синтетичку примењивост, на интер- и интрамолекулском плану. У потпоглављу о фотохемијским реакцијама дата су и корисна техничка упутства за њихово експериментално извођење, што је важно, јер успех ових реакција у великој мери зависи од правилног извођења експеримента. На крају потпоглавља о циклоадицијама поменуте су и (3+2)-циклоадиције оксалил-катјона. На самом крају прегледа перицикличних реакција се налазе кратки прикази хелетропних реакција (циклоадиција и циклиреверзија) и енских реакција. Са преко 200 литературних навода, како „класичних“ радова, тако и савремених остварења из наших дана, поглавље 14 *Перицикличне реакције* представља квалитетан, систематичан и изузетно користан приказ ове необично важне класе органских реакција.

Важност молекулских премештања, из угла синтетичког хемичара, проистиче из чињенице да она битно мењају структуру супстрата, отварају нове ретросинтетичке путеве и омогућавају примену алтернативних синтетичких стратегија. Упркос томе, студенти остају ускраћени за садржајнији приказ ових реакција, можда баш из разлога њихове механистичке разноврсности, која отежава класификацију и систематичан приказ. У поглављу 15 *Молекулска ђремешћања*, на готово 100 страна текста дат је детаљан приказ синтетички значајних премештања, који попуњава ову празнину у нашој литератури. Преглед је веома квалитетно сачињен и адекватно илустрован примерима од којих је сваки поткрепљен литературним наводом (140 референци). Класификација премештања за овог рецензента је помало збуњујућа, јер се реакције, које се у „класичној“ литератури означавају као карбокатјонска премештања, овде подводе под сигматропна премештања (истина, уз навођење да чине посебну подгрупу). Оваква класификација може се правдати чињеницом да нпр. миграције карбокатјонских интермедијера обухватају интеракције граничних орбитала, али то се може рећи и за многе друге хемијске реакције. Реакције попут Вагнер-Мирвајновог, или пинаколског премештања, у литератури су традиционално приказиване у поглављу посвећеном катјонским премештањима, јер се врше преко катјонских интермедијера, за

разлику од сигматропних премештања, која не обухватају интермедијере. Могуће је да би пажљива анализа уџбеничке литературе у свету (по овом питању) могла да помогне у решавању ове дилеме (уколико она уопште постоји). Једно премештање које недостаје и које би можда требало уврстити у приказ, је премештање циклопропил-метил у бутенил. Ово премештање није лако класификовати, јер се дешава и као катјонско, и као радикалско, а под одређеним условима и као анјонско. Поред значаја који има у синтези, оно је важно и са едукативног аспекта, јер представља доста општу илустрацију принципа ослобађања од угаоног напона као основа за скелетну трансформацију (за различите типове интермедијера). Потпоглавље 15.1.2 *Премештања преко четиворочланог прелазног стања* обухвата 4 стране посвећене теоријским и механистичким разматрањима реакције и један пример; с обзиром на веома ограничен синтетички значај ових реакција, мислим да би потпоглавље 15.1.2 требало изоставити.

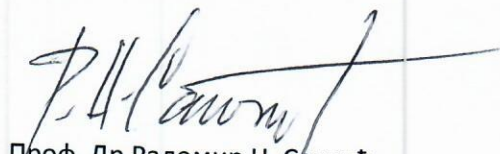
Слободно-радикалске реакције представљају важну класу органских реакција која је донекле запостављена на основним студијама хемије. У овој књизи њима је посвећено поглавље 16 *Слободно-радикалске реакције*. На нашем језику већ постоје две књиге које обрађују ову проблематику; једна у нешто мањем обиму, а друга у ширем. Оправданост овог прилога може се бранити чињеницом да су њиме обухваћене и радикалске реакције за увођење функционалних група, за разлику од претходно поменутих књига које су посвећене искључиво стварању веза угљеник-угљеник. Поглавље садржи више информација него што може да усвоји просечан студент хемије (то наравно зависи и од наставног плана и фонда часова), али верујем да може користити и истраживачима у области органске хемије и органске синтезе, као концизан преглед синтетички корисних реакција слободних радикала, који садржи и примере из новије литературе.

Последње поглавље: 17 *Завршни део*, представља покушај да се материјал изложен у претходним поглављима контекстуализује: изоловане хемијске реакције нису саме себи сврха, већ их треба посматрати као инструменте за конструкцију молекула, као тактичка средства за остваривање стратешких циљева. Такав приказ није могуће остварити на неколико страна, јер се проблематика синтетичке стратегије и ретросинтетичке анализе обрађује као засебна, веома обимна проблематика, што би далеко превазишло обим ове књиге. Па ипак, књига би била недоречена уколико би студенти били лишени елементарних информација о месту и улози органске синтезе, као и о основним појмовима синтетичке стратегије. Као илустрацију примене изложених принципа у синтези сложених молекула, аутор је употребио пример из сопствене лабораторије: тоталну синтезу алкалоида алтосколарисина А – врхунско остварење које је привукло значајну пажњу светске научне заједнице. Овај пример на импресиван начин приказује ингениозну ретросинтетичку анализу, праћену адекватном експерименталном реализацијом теоријске замисли. Питање је, међутим, колико је просечан читалац у стању да схвати сложеност овог проблема, а тиме и вредност понуђеног решења, јер је за разумевање ове проблематике потребно досегнути висок ниво хемијског знања. Могуће је да ће они који, подстакнути овом књигом, одлуче да своје усавршавање наставе у области органске синтезе, нешто касније, при поновном прелиставању овог поглавља, у пуној мери ценити ову елегантну демонстрацију синтетичке ефикасности.

Да закључим: књига ОРГАНСКЕ СИНТЕЗЕ СА МЕХАНИСТИЧКИМ ОСНОВАМА – 2. ДЕО (која чини органску целину са првим делом истоимене едиције), аутора др Филипа Бихеловића, ванредног професора, представља капитално дело у области органске синтезе. Осмишљена као уџбеник, она нуди и знатно више од тога: богатством садржаја, савременошћу примера и обиљем

литературних навода (1281 референца прецизно повезана са датим примерима, што је без преседана у уџбеничкој литератури код нас) она надилази потребе студената основних студија и свакако ће корисно послужити постдипломцима, истраживачима у области органске хемије и свима онима који желе да дубље схвате и потпуније овладају науком и уметношћу органске синтезе. Стога са великим задовољством предлажем Наставно-научном већу Хемијског факултета да књигу ОРГАНСКЕ СИНТЕЗЕ СА МЕХАНИСТИЧКИМ ОСНОВАМА – 2. ДЕО, аутора др Филипа Бихеловића, прихвати као уџбеник за студенте хемије и преда га у штампу у што краћем року, како би већ наредна генерација студената 3. године могла да користи ову изванредну едицију.

У Београду, 2. 2. 2026.



Проф. Др Радомир Н. Саичић,

Редовни члан САНУ

Рецензија

Књига:

Органске синтезе са механистичким основама - 2. део.

Аутор:

др Филип Бихеловић, ванредни професор, Универзитет у Београду, Хемијски факултет, Катедра за органску хемију

Рецензент:

др Владимир Савић, редовни професор, Универзитет у Београду, Фармацеутски факултет, Катедра за органску хемију

Књига *Органске синтезе са механистичким основама - 2. део* аутора др Филипа Бихеловића, ванредног професора Хемијског факултета у Београду, је други део текста посвећеног органској синтези, односно наставак књиге *Органске синтезе са механистичким основама - 1. део*. Овај део текста бави се највећим делом хемијским реакцијама које воде настанку C-C веза. Опис књиге изражен само нумеричким вредностима је сличан првом делу: 739 страна Б5 формата, 550 схема са 1550 примера и 1281 цитатних навода. Садржај је подељен на неколико поглавља: 7. *Реакције органометалних једињења*, 8. *Хемија енолата*, 9. *Реакције алкиловање енолата*, 10. *Реакције ациловање енолата*, 11. *Алдолне кондензације*, 12. *Хемија илида и реакције олефинавања*, 13. *Ароматичне супституције*, 14. *Перицикличне реакције*, 15. *Молекулска премештања*, 16. *Слободно-радикалске реакције*, 17. *Завршни део*. Поред ових поглавља, књига садржи и следеће, слично као и у првом делу: списак скраћеница, индекс појмова и индекс именованих реакција и реагенаса, што доприноси једноставнијем претраживању и употреби текста. Поглавље 7, *Реакције органометалних једињења*, за тему има примену хемије органометала у органској синтези. Дуги низ година, а посебно последњих деценија, синтетичке трансформације засноване на особинама органометала су интензивно проучаване, а остварени напредак у овој области је толики да не би било могуће књигом овог формата представити много тога. Међутим, то и није била намера аутора, али је пажљивим одабиром направљена селекција најзначајнијих синтетских методологија заснованих углавном на металима прве и друге групе као и на прелазним металима. У општем маниру који је коришћен у првом делу књиге, и овде су објашњени основни појмови, структура органометалних једињења, механизми реакција у којима учествују а затим и примена различитих трансформација и њихових важнијих модификација у органској синтези. Наредна три поглавља разматрају хемију енолата, од киселости C-H везе, начина генерисања анјона до синтетски најзначајнијих трансформација. У делу текста који за тему има олефинационе реакције описане су све важне реакције овог типа уз детаљно разматрање, поред осталог, контроле стереохемије двоструке везе. Поглавље о ароматичним супституцијама фокусирано је подједнако и на електрофилне и на нуклеофилне реакције, а поред класичних процеса описани су и они који се заснивају на употреби металних катализатора. Наредна два поглавља, *Перицикличне реакције* и *Молекулска премештања*, представљена су уз примену теорија молекулских орбитала на веома јасан и сажет начин. Овакав приступ је веома важан јер омогућава разумевање фундаменталних принципа који управљају реакцијама из ове класе хемијских трансформација. Област радикалских реакција конципирана је

слично претходним поглављима. Након уводног дела који се односи на структуру, стабилност, генерисање радикала, као и на њихову реактивност и механизме реакција, описане су различите класе трансформација које укључују њихов настанак. Последње поглавље текста посвећено је ретросинтетској стратегији илустрованој кроз примере синтеза (+)-сваинсонина и (±)-алстосколарисина А.

Слично као и *Органске синтезе са механистичким основама - 1. део* и књига *Органске синтезе са механистичким основама - 2. део* на систематичан начин и веома јасно представља неколико важних тема у области органске синтезе. На ефектан начин, аргументовано и илустративно, аутор води читаоца кроз сложене концепте органске синтезе, уводећи га у тему основним појмовима, олакшавајући му на тај начин сагледавање напреднијих аспеката синтетских методологија. Садржај књиге је јасно структуриран, логички организован и поткрепљен бројним примерима, табелама и референцама, што доприноси њеној прегледности и практичној употребљивости.

Мада је област органске синтезе толико опширна да и текстом формата обе књиге није могуће обухватити детаљно све синтетски важне области, што није ни била намера аутора, захваљујући одабиру тема, начину писања и илустративности текста, може се рећи да обе књиге заједно представљају веома важан допринос научној литератури. Као што је речено за књигу *Органске синтезе са механистичким основама - 1. део*, може се исто рећи и за књигу *Органске синтезе са механистичким основама - 2. део*, ово дело ће бити изузетно корисно студентима као основна литература али и истраживачима у области органских синтеза, без обзира да ли им је то примарна област истраживања или алат у истраживању других области.

Узимајући у обзир сложеност подухвата и све тешкоће у систематском сагледавању једне тако комплексне научне области каква је органска синтеза, може се рећи да је аутор, др Филип Бихеловић, у потпуности успео да креира значајно и вредно писано дело (*Органске синтезе са механистичким основама - 1. део* и *Органске синтезе са механистичким основама - 2. део*) које представља важан допринос области и с правом може бити предмет интересовања не само стручне него и шире научне јавности којој су теме органских синтеза блиске.

Београд 25.1.2026.

Marko Gac