

Anna KAWKA

Zakład Produktów Bioaktywnych,  
Wydział Chemii, Uniwersytet  
im. Adama Mickiewicza,  
ul. Uniwersytetu Poznańskiego 8,  
61-614 Poznań



Maciej JAKUBIAK

Zakład Produktów Bioaktywnych,  
Wydział Chemii, Uniwersytet  
im. Adama Mickiewicza,  
ul. Uniwersytetu Poznańskiego 8,  
61-614 Poznań



Hanna KOENIG

Zakład Produktów Bioaktywnych, Wydział  
Chemii, Uniwersytet  
im. Adama Mickiewicza,  
ul. Uniwersytetu Poznańskiego 8,  
61-614 Poznań



Tomasz POSPIESZNY\*

Zakład Produktów Bioaktywnych, Wydział Chemii,  
Uniwersytet im. Adama Mickiewicza,  
ul. Uniwersytetu Poznańskiego 8, 61-614 Poznań  
e-mail: tposp@amu.edu.pl

# Chemia steroidów – między naturą a syntezą

## Steroid chemistry – between nature and synthesis



DOI: 10.15199/4.2026.1.2

Przegląd literaturowy jednej z najważniejszych klas związków chemicznych występujących w organizmach żywych - steroidów. Przedstawiono ich unikatową strukturę opartą na szkielecie steranu oraz omówiono różnorodne funkcje biologiczne (od hormonów steroidowych po składniki błon komórkowych). Budowa oraz stereochemia tych związków determinują ich aktywność biologiczną i farmakologiczną. Głównym przedstawicielem wśród steroidów jest cholesterol – prekursor dla wielu aktywnych biologicznie związków. Z kolei specyficzne właściwości kwasów żółciowych otwierają ścieżki do ich chemicznej modyfikacji. Użycie tych związków w reakcjach chemii „click” umożliwia projektowanie biokonjugatów oraz materiałów supramolekularnych. Ogromny potencjał steroidów jako naturalnych związków o szerokim zastosowaniu w chemii medycznej wskazuje na przyszłe kierunki ich wykorzystania w projektowaniu nowych terapii lub materiałów funkcjonalnych.

**Słowa kluczowe:** steroidy, związki bioaktywne, cholesterol, kwasy żółciowe, deksametazon, COVID-19, potencjał farmakoterapeutyczny

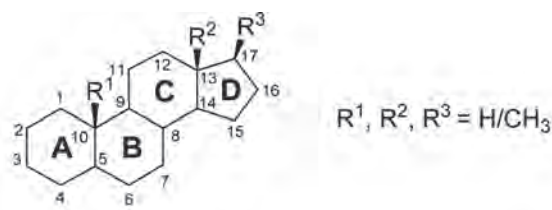
A review, with 60 refs., of one of the most important classes of chemical compounds found in living organisms – steroids, was presented. Their unique structure, based on the sterane skeleton, was presented, and their diverse biological functions (from steroid hormones to cell membrane components) were discussed. The structure and stereochemistry of these compounds determine their biological and pharmacological activity. The main representative among steroids is cholesterol – a precursor to many biologically active compounds. The specific properties of bile acids, in turn, open up avenues to their chemical modification. Using these compounds in click chemistry reactions enables the design of bioconjugates and supramolecular materials. The enormous potential of steroids as natural compounds with broad applications in medicinal chemistry suggests future directions for their use in the design of new therapies or functional materials.

**Keywords:** steroids, bioactive compounds, cholesterol, bile acids, dexamethasone, COVID-19, pharmacotherapeutic potential

## Wstęp

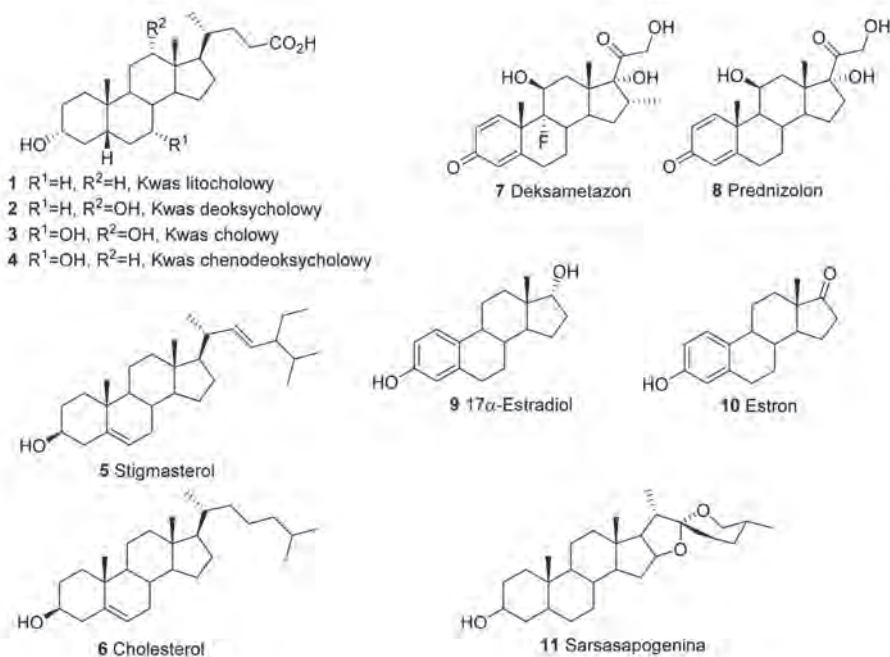
Początki chemii steroidów sięgają XVIII wieku. W 1769 r. François Poulletier de la Salle zidentyfikował woskową substancję w kamieniach żółciowych, a w 1815 r. Michel Eugène Chevreul wyizolował ją z tkanek zwierzęcych i nazwał cholesteryną (*chole* – żółć i *stereos* – ciało stałe). Po odkryciu w jej strukturze grupy hydroksylowej nazwę zmieniono na „cholesterol”. Był to pierwszy wyizolowany steroid. Na długo przed poznaniem ich budowy związki steroidowe stosowano w medycynie ludowej. W 1785 r. William Withering opisał stosowanie naparstnicy w leczeniu chorób serca, a w 1930 r. z *Digitalis lanata* wyizolowano digoksynę, pierwszy poznany glikozyd nasercowy o budowie steroidowej.

Steroidy stanowią jedną z najważniejszych i najbardziej fascynujących grup naturalnych związków chemicznych. Odgrywają fundamentalną rolę w funkcjonowaniu organizmów żywych. Charakteryzują się unikatową strukturą molekularną opartą na szkielecie węglowym złożonym z czterech sprzężonych pierścieni – trzech sześciowęglowych (A, B, C) i jednego pięciocłonowego (D) (rys. 1). Ten charakterystyczny układ steranu jest nazywany również jako cyklopentanoperhydrofenantren [1, 2].



Rys. 1. Szkielet steroidowy wraz z numeracją atomów węgla  
Fig. 1. Steroid skeleton with carbon atom numbering

W tkankach roślin i zwierząt zidentyfikowano dotychczas kilkaset różnych steroidów pełniących w organizmach kluczowe funkcje biologiczne (rys. 2). Związki te występują naturalnie jako metabolity wtórne w licznych gatunkach roślin (szczególnie z rodziny psiankowatych *Solanaceae*). W organizmach zwierzęcych występują głównie hormony steroidowe [3, 4]. Najbardziej znanym steroidem jest cholesterol (6), stanowiący podstawowy składnik błon komórkowych u ssaków. U roślin tę rolę pełnią fitosterole i brassinosteroidy, które regulują ich wzrost i rozwój. Biosynteza większości steroidów opiera się na przekształceniu cząsteczki cholesterolu będącego głównym prekursorem do syntezy hormonów płciowych (9, 10), kortykoste-



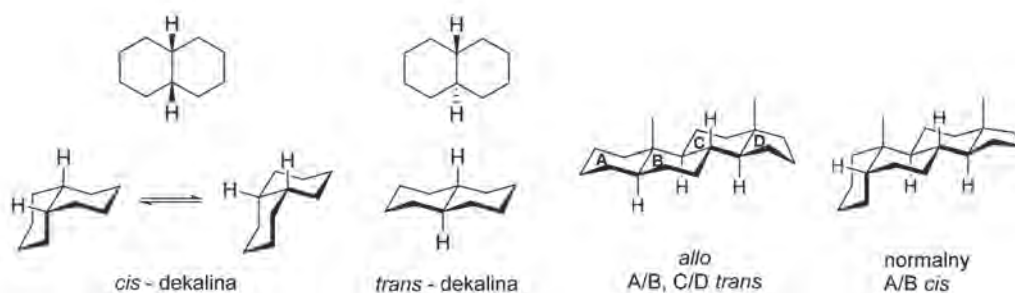
**Rys. 2.** Związki naturalne należące do steroidów  
**Fig. 2.** Natural compounds belonging to steroids

roidów (7, 8), kwasów żółciowych (1–4) oraz innych aktywnych biologicznie metabolitów [5].

W organizmach żywych steroidy pełnią niezbędne funkcje. Hormony steroidowe, takie jak kortyzol, aldosteron, testosteron i estrogeny odpowiadają za regulację gospodarki hormonalnej. Kontrolują procesy metaboliczne, gospodarkę wodno-elektrolitową, rozwój płciowy, funkcje rozrodcze oraz reakcje na stres [6]. Cholesterol stabilizuje strukturę błon komórkowych i wpływa na ich płynność i przepuszczalność [7]. Glikokortykosteroidy wykazują silne działanie przeciwzapalne i immunosupresyjne. Do ich zadań należy regulacja procesów zapalnych oraz modulacja odpowiedzi układu odpornościowego [8]. U roślin, brassinosteroidy stymulują wzrost, opóźniają starzenie i regulują fotosyntezę [9], zaś u zwierząt steroidy anaboliczne wpływają na przyrost masy mięśniowej i rozwój cech płciowych. Co ciekawe, występujące u owadów ekdysteroidy regulują proces linienia i przekształceń rozwojowych [10]. Związki pochodzenia naturalnego pełnią fundamentalne role w utrzymaniu homeostazy oraz kontroli procesów fizjologicznych [11].

#### Budowa i stereochemia steroidów

Charakterystyczną cechą steroidów jest ich zdolność do modyfikacji podstawowego szkieletu steranu. Utworzone struktury różnią się między sobą stopniem nasycenia układu pierścieniowego oraz



**Rys. 3.** Konformacje przestrzenne pierścieni A, B, C i D w budowie steroidów na przykładzie izomerów dekaliny  
**Fig. 3.** Spatial conformations of rings A, B, C and D in the structure of steroids, as exemplified by decalin isomers

rodzajem i położeniem podstawników funkcyjnych. Przekłada się to na szerokie spektrum właściwości biologicznych i farmakologicznych. Ta różnorodność strukturalna umożliwia powstawanie naturalnych pochodnych o zróżnicowanym działaniu. Do najbardziej znanych zalicza się hormony regulujące metabolizm, sterole będące składnikami błon komórkowych oraz związki o właściwościach przeciwzapalnych i immunomodulujących.

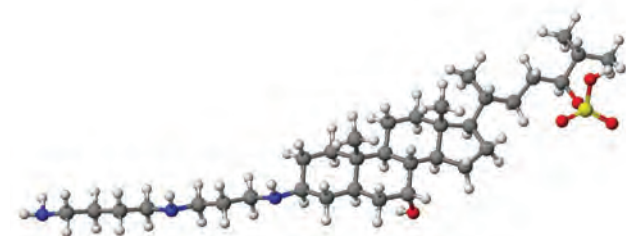
Stereochemia steroidów stanowi kluczowy element determinujący ich aktywność biologiczną. Cząsteczki steroidów wykazują złożoną strukturę przestrzenną, w której pierścienie sześciowęglowe przyjmują konformację krzesłową, a podstawniki są w położeniu aksjalnym lub ekwatorialnym (rys. 3). Ten model przestrzenny ma bezpośredni wpływ na sposób oddziaływania steroidów z receptorami biologicznymi oraz na ich właściwości farmakodynamiczne [12]. Istotność stereochemii steroidów

wynika z faktu, że ich aktywność biologiczna jest ściśle powiązana z precyzyjnym dopasowaniem do specyficznych receptorów w organizmie. Nawet niewielkie zmiany w konfiguracji przestrzennej mogą znacząco zmienić to powinowactwo, a w efekcie działanie biologiczne [13].

Podatność steroidów na modyfikacje strukturalne czyni je niezwykle atrakcyjnymi obiektami badań w chemii bioorganicznej i medycznej. Możliwość wprowadzenia zmian w szkielecie steroidowym oraz selektywna modyfikacja grup funkcyjnych pozwala na projektowanie nowych koniugatów o pożądanych właściwościach terapeutycznych. Ta transformacja cząsteczki leży u podstaw rozwoju licznych leków steroidowych stosowanych w medycynie [14–16].

Skwalamina (12) (rys. 4) (wyizolowana z wątroby rekina *Squalus acanthias*) jest uznawana za modelowy związek do tworzenia nowych biokoniugatów o zmienionych i wzmocnionych właściwościach farmakologicznych [17]. Ten naturalny aminosteroid łączy unikatową strukturę szkieletu steroidowego z łańcuchem poliaminowych (rys. 4). Kombinacja właściwości steroidów i poliamin przełożyła się na jej szerokie spektrum aktywności biologicznej, w tym szczególne działanie przeciwbakteryjne, przeciwwirusowe oraz przeciwnowotworowe [18, 19]. Amfifilowa natura skwalaminy oraz obecność funkcjonalnych grup aminowych ułatwiają jej sprzężanie z różnymi

ligandami i cząsteczkami biologicznymi. Zajmuje ona ważne miejsce w chemii steroidów, obok cholesterolu i kwasów żółciowych, jako prekursor w projektowaniu nowych biokoniugatów o zastosowaniu terapeutycznym [20].

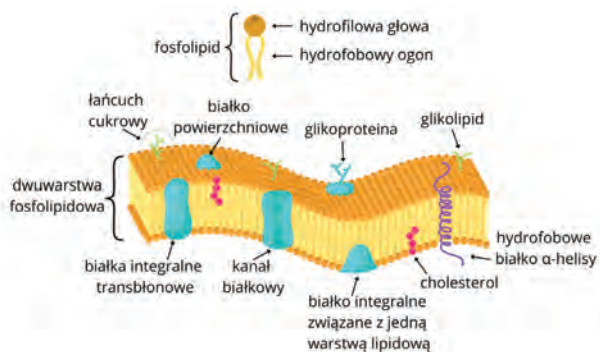


Rys. 4. Skwalamina oraz jej model molekularny

Fig. 4. Squalamine and its molecular model

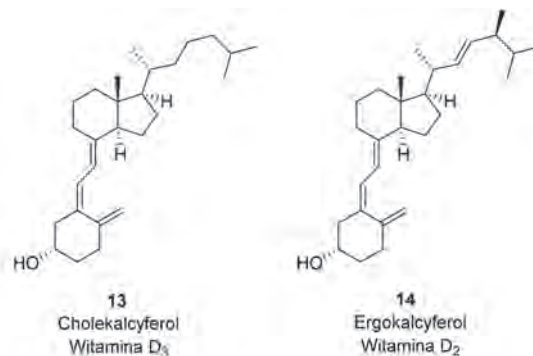
### Aktywność biologiczna cholesterolu

Ze względu na unikatową strukturę i kluczową rolę biologiczną, cholesterol stanowi atrakcyjny materiał do modyfikacji chemicznych. Struktura tego sterolu zwierzęcego charakteryzuje się obecnością grupy hydroksylowej  $3\beta\text{-OH}$  w pozycji ekwatorialnej oraz dwóch aksjalnych podstawników metylowych, co nadaje mu specyficzne ułożenie przestrzenne. Znaczenie stereochemii jest ściśle związane z interakcjami cholesterolu z błonami komórkowymi, jak również z enzymami odpowiedzialnymi za jego przemiany (rys. 5) [21, 22].



Rys. 5. Budowa błony białkowo-lipidowej  
Fig. 5. Structure of the protein-lipid membrane

Cholesterol jest doskonałym substratem do syntezy różnorodnych pochodnych steroidowych, mogących mieć zastosowanie w badaniach podstawowych oraz w medycynie. Transformacje szkieletu sterolowego determinują otrzymanie wielu biologicznie aktywnych związków, takich jak hormony płciowe, kortykosteroidy i witamina  $D_3$  (13) (rys. 6) [23]. Dzięki temu modyfikacje cholesterolu prowadzą do uzyskania nowych związków o zróżnicowanych właściwościach farmakologicznych i fizykochemicznych [24, 25].



Rys. 6. Witamina D3 i D2 jako pochodne sterolowe

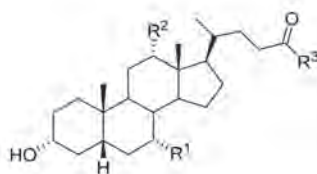
Fig. 6. Vitamin D3 and D2 as sterol derivatives

Obecność grupy hydroksylowej oraz możliwość wprowadzenia zmian w łańcuchu bocznym umożliwia projektowanie biokoniugatów steroidowych i ligandów stosowanych w chemii supramolekularnej oraz systemach dostarczania leków. Przekształcenia tego typu pozwalają na kontrolę właściwości amfipatycznych i interakcji molekularnych, co ma kluczowe znaczenie w projektowaniu materiałów funkcjonalnych i układów biologicznych [26–28].

### Znaczenie biologiczne kwasów żółciowych

Kwasy żółciowe to szczególny typ związków steroidowych. Powstają w wątrobie w wyniku przemian cholesterolu i stanowią końcowy punkt jego degradacji [29]. Doskonale rozpuszczają się w wodzie, co wynika z obecności grupy karboksylowej w łańcuchu bocznym oraz nawet kilku grup hydroksylowych ( $3\alpha\text{-OH}$ ,  $7\alpha\text{-OH}$ ,  $12\alpha\text{-OH}$ ) w cząsteczce (rys. 7). Wyróżnia się kwasy żółciowe pierwszorzędowe (np. kwas cholowy i chenodeoksycholowy) sprzężone z glicyną (15, 17) lub tauryną (16, 18) w wątrobie. Z kolei te drugorzędowe (takie jak kwas deoksycholowy i lithocholowy) powstają z udziałem bakterii jelitowych [30].

Kwasy żółciowe ułatwiają trawienie tłuszczów poprzez ich emulgację, co zwiększa powierzchnię dostępną dla enzymów trawiennych (szczególnie lipazy trzustkowej). Ponadto, wspomagają wchłanianie lipidów oraz witamin rozpuszczalnych w tłuszczach (A, D, E, K). Ich rolą jest również eliminacja nadmiaru cholesterolu z organizmu, co poprawia jego rozpuszczalność, a jednocześnie zapobiega powstawaniu złożeń cholesterolu w pęcherzyku żółciowym. Kwasy żółciowe nadzorują funkcje motoryczne, sensoryczne i wydzielnicze jelit. Wpływają również na przepuszczalność bariery jelitowej i regulację odpowiedzi zapalnej. Warto zauważyć, że jako cząsteczki sygnałowe oddziałują na szlaki metaboliczne lipidów i glukozy. Będąc ligandami czynników transkrypcyjnych sterują ekspresją genów związanych z metabolizmem. Około 95% kwasów żółciowych jest zwrotnie wchłaniane do wątroby poprzez krążenie jelitowo-wątrobowe, a tylko niewielka część jest wydalana z kałem [31, 32].



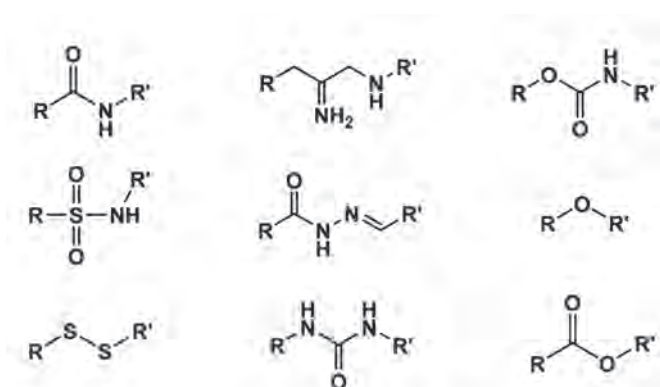
15  $R^1 = \text{OH}$ ,  $R^2 = \text{H}$ ,  $R^3 = \text{NHCH}_2\text{CO}_2\text{H}$ , Kwas glikochenodeoksycholowy  
16  $R^1 = \text{OH}$ ,  $R^2 = \text{H}$ ,  $R^3 = \text{NHCH}_2\text{CH}_2\text{SO}_3\text{H}$ , Kwas taurochenodeoksycholowy  
17  $R^1 = \text{OH}$ ,  $R^2 = \text{OH}$ ,  $R^3 = \text{NHCH}_2\text{CO}_2\text{H}$ , Kwas glikocholowy  
18  $R^1 = \text{OH}$ ,  $R^2 = \text{OH}$ ,  $R^3 = \text{NHCH}_2\text{CH}_2\text{SO}_3\text{H}$ , Kwas taurocholowy

Rys. 7. Koniugaty kwasów żółciowych z aminokwasami

Fig. 7. Bile acid conjugates with amino acids

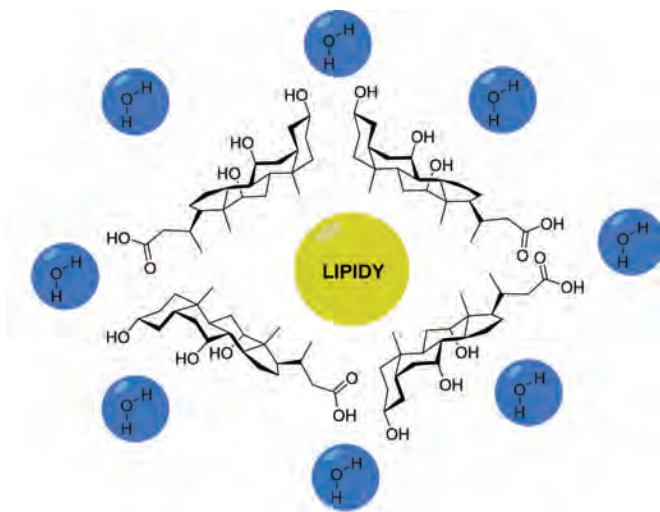
### Biokoniugaty kwasów żółciowych

Sprzężenie rdzenia steroidowego z różnymi cząsteczkami biologicznie czynnymi zyskuje szczególne znaczenie ze względu na ich unikatowe właściwości amfipatyczne, co ma ogromne znaczenie w chemii supramolekularnej (rys. 8) [33].



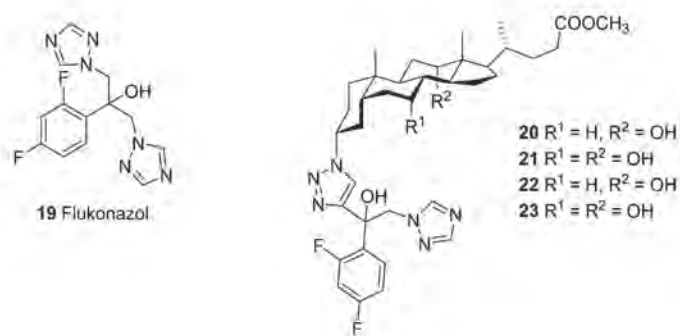
Rys. 8. Dostępne drogi modyfikacji grup funkcyjnych steroidów [16]  
Fig. 8. Available ways of modifying functional groups of steroids [16]

Biokoniugaty kwasów żółciowych zawierają zarówno hydrofobowe (tzw. „ogon”), jak i hydrofilowe (tzw. „głowa”) fragmenty. Tego typu złożona struktura molekularna jest zdolna do tworzenia samoorganizujących się miceli oraz nanocząsteczek w roztworach wodnych (rys. 9). Sprawia to, że są one doskonałym komponentem w badaniach nad mechanizmami oddziaływań supramolekularnych [34, 35].



Rys. 9. Proces micelizacji kwasów żółciowych [36]  
Fig. 9. Bile acid micellization process [36]

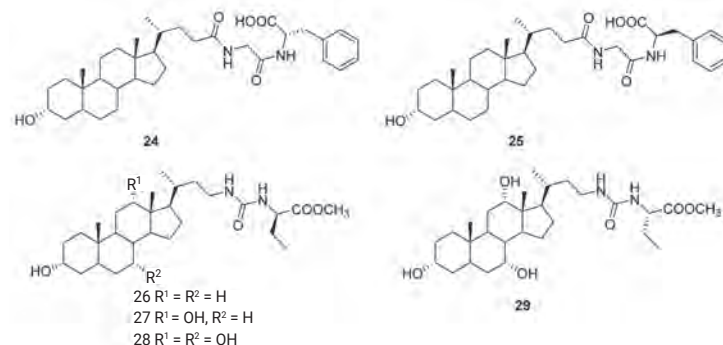
Odpowiednia modyfikacja szkieletu kwasu żółciowego prowadzi do otrzymania struktur nośnikowych. Biokoniugaty steroidowe są badane jako potencjalne nośniki leków (**20–23**). Ich rozbudowane właściwości transportujące poprawiają rozpuszczalność, stabilność oraz biodostępność substancji bioaktywnej (rys. 10). Ma to szczególne zastosowanie w terapii chorób wątroby, metabolicznych i nowotworowych [37–39]. Ich naturalne pochodzenie i biokompatybilność zwiększają potencjał terapeutyczny leków.



Rys. 10. Koniugaty kwasów żółciowych z flukonazolem (lekiem o działaniu przeciwgrzybicznym) [40–42]

Fig. 10. Bile acid conjugates with fluconazole (antifungal medication) [40–42]

Należy podkreślić, że koniugacja kwasów żółciowych z różnymi ligandami pozwala na projektowanie molekuł zdolnych do selektywnego wiązania i rozpoznawania. Związki te są szeroko wykorzystywane w tworzeniu sensorów, katalizatorów oraz materiałów funkcjonalnych (**24–29**) (rys. 11). Z kolei odpowiednia modyfikacja strukturalna biokoniugatów umożliwia kontrolę nad ich rozpuszczalnością, stabilnością termiczną oraz podatnością do interakcji z innymi molekułami. Jest to istotna cecha potencjalnych, nowych materiałów supramolekularnych [43, 44].

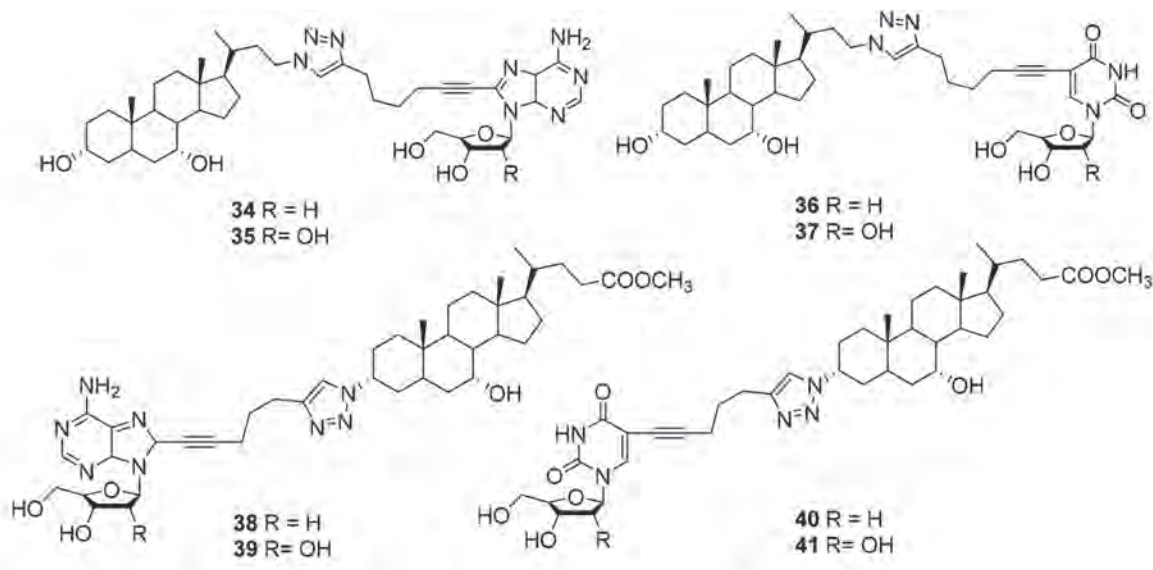


Rys. 11. Pochodne steroidowe o właściwościach żelujących  
Fig. 11. Steroid derivatives with gelling properties

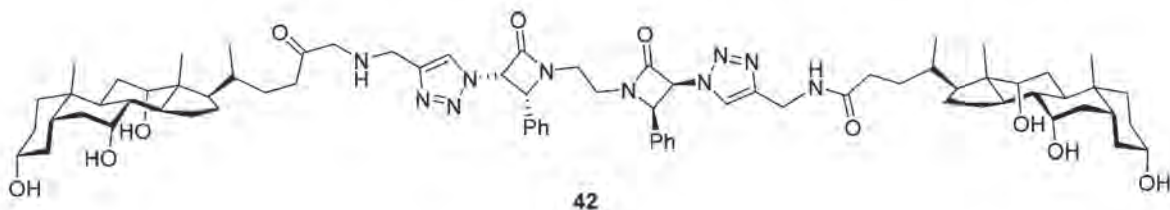
Kwasy żółciowe są często wykorzystywane w chemii „click” do syntezy biokoniugatów steroidowo-triazolowych [45]. Determinuje to powstawanie nowych funkcjonalnych pochodnych (**30–42**) o znaczącej aktywności biologicznej (rys. 12) [46]. Reakcje chemii „click”, do której zalicza się 1,3-dipolarną cykloaddycję azydowo-alkinową katalizowaną miedzią(I) prowadzą do utworzenia pierścienia 1,2,3-triazolowego (rys. 13) [47]. Są szczególnie cenione za ich wydajność, selektywność, prostotę i łagodne warunki przebiegu, co pozwala na modyfikację cząsteczki kwasów żółciowych bez uszkodzenia ich struktury [48]. Chemia „click” umożliwia szybkie i precyzyjne łączenie kwasów żółciowych z ligandami, co jest wykorzystywane w syntezie potencjalnych leków oraz do tworzenia układów typu gość-gospodarz [49–55].

### Steroidy w leczeniu COVID-19

Glikokortykosteroidy odgrywają ważną rolę w leczeniu wirusa SARS-CoV-2, szczególnie u pacjentów z ciężkim i krytycznym przebiegiem choroby. Ich zastosowanie opiera się na silnych właściwo-



**Rys. 12.** Pochodne steroidowe o właściwościach przeciwbakteryjnych, przeciwgrzybiczych, przeciwwirusowych i przeciwnowotworowych (34–42)  
**Fig. 12.** Steroid derivatives with antibacterial, antifungal, antiviral and anticancer properties (34–42)



**Rys. 13.** Possible "click" reaction pathways [56]  
**Fig. 13.** Possible "click" reaction pathways [56]

ściach przeciwzapalnych oraz immunomodulujących. Ogranicza to nadmierną odpowiedź zapalną organizmu, która jest charakterystyczna dla ciężkich postaci zakażenia COVID-19 [57].

Badania kliniczne wykazały, że stosowanie tzw. glikokortykosteroidów systemowych, takich jak deksametazon (**7**), zmniejsza czterytygodniową śmiertelność u chorych wymagających tlenoterapii lub wentylacji mechanicznej. Wprowadzenie związków sterydowych do rutynowej terapii poprawiło rokowania pacjentów. Ponadto, obniżyło ryzyko powikłań włóknienia płuc w okresie rekonwalescencji [58, 59]. Udowodniono, że stosowanie pulsowej terapii sterydowej może być skuteczniejsze w redukcji śmiertelności niż wysokie dawki sterydów podawane przewlekle [60]. Sterydy wziewne wykazywały również korzystny wpływ u pacjentów z chorobami współistniejącymi, takimi jak astma, poprawiając ich odporność na zakażenie SARS-CoV-2. Leki steroidowe są zalecane przez WHO (World Health Organization) jako standardowa terapia u pacjentów z ciężkim i krytycznym przebiegiem COVID-19.

## Podsumowanie

Steroidy to niezwykle istotna i wszechstronna grupa związków naturalnych. Dzięki swojej unikatowej strukturze i stereochemii pełnią kluczowe funkcje biologiczne w organizmach żywych. Ich zdolność do modyfikacji chemicznych pozwala na tworzenie licznych po-

chodnych o zróżnicowanych właściwościach fizykochemicznych i biologicznych. Są cennymi związkami w badaniach naukowych jak i w medycynie.

Kwasy żółciowe oraz cholesterol stanowią ważne prekursory w projektowaniu biokoniugatów steroidowych. Ich właściwości amfipatyczne oraz zdolność do samoorganizacji sprawiły, że znajdują szerokie zastosowanie w chemii supramolekularnej oraz jako nośniki leków. Reakcje chemii „click” umożliwiają efektywne i selektywne tworzenie takich koniugatów, co otwiera nowe ścieżki w projektowaniu nowoczesnych terapii i materiałów funkcjonalnych. Deksametazon zyskał szczególne znaczenie jako skuteczny lek w leczeniu ciężkich postaci COVID-19, dzięki jego działaniu w modulowaniu odpowiedzi zapalnej i immunologicznej. Potwierdza to ogromny potencjał terapeutyczny steroidów i ich pochodnych.

Steroidy są nie tylko fundamentalnymi związkami biologicznymi, ale także niezwykle wartościowymi substratami do modyfikacji chemicznych. Znalazły szerokie zastosowanie w chemii medycznej, supramolekularnej i terapii chorób. W przyszłości dalsze badania nad modyfikacjami struktury steroidów, w szczególności poprzez wprowadzanie nowych fragmentów farmakoforowych oraz projektowanie hybrydowych układów molekularnych, mogą przyczynić się do opracowania nowych związków o ulepszonych właściwościach biologicznych i materiałowych. Rozwój tego obszaru może prowadzić zarówno do powstania nowych kandydatów na leki, jak i inno-

wacyjnych materiałów funkcjonalnych wykorzystywanych w chemii supramolekularnej i nanotechnologii.

Received / Otrzymano: 11.02.2026

Accepted / Przyjęto: 14.03.2026

**dr inż. Anna KAWKA.** W 2021 r. uzyskała tytuł magistra inżyniera analityki żywności, a w 2025 r. stopień doktora nauk chemicznych na Wydziale Chemii Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu. Obecnie adiunkt w Zakładzie Produktów Bioaktywnych na tym samym wydziale, gdzie realizuje zainteresowania związane z chemią steroidów i syntezą organiczną. Uczestniczka kilkudziesięciu ogólnopolskich i międzynarodowych sympozjów naukowych, w tym laureatka nagród za prezentacje. Współautorka 8 publikacji naukowych. Adres e-mail: anna.kawka@amu.edu.pl

**Maciej JAKUBIAK.** Student 2-go roku studiów I stopnia na kierunku chemia medyczna z projektowaniem leków na Wydziale Chemii Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu. Interesuje się chemią organiczną i bioorganiczną. Adres e-mail: macjak1@st.amu.edu.pl

**dr inż. Hanna KOENIG.** W 1990 r. uzyskała tytuł magistra inżyniera chemii na Wydziale Technologii Chemicznej Politechniki Poznańskiej. Od 1995 r. jest pracownikiem badawczo-technicznym, obecnie w Zakładzie Produktów Bioaktywnych na Wydziale Chemii UAM, gdzie zajmuje się chemią produktów naturalnych, a w szczególności chemią steroidów, chemią środków bakteriobójczych, syntezą organiczną i analizą spektroskopową. W 2017 roku uzyskała na Wydziale Chemii Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu stopień doktora chemii. Jest współautorką około 40 publikacji naukowych. Adres e-mail: koenig@amu.edu.pl

**prof. dr hab. Tomasz POSPIESZNY.** W 2002 r. uzyskał tytuł magistra chemii na Wydziale Chemii Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu. W 2006 roku uzyskał na tej samej uczelni stopień doktora chemii. W 2016 roku przedstawił rozprawę habilitacyjną z chemii na Wydziale Chemii Uniwersytetu Łódzkiego. W 2025 roku uzyskał tytuł profesora nauk ścisłych i przyrodniczych w dyscyplinie nauki chemiczne. Oprócz zainteresowań związanych z chemią produktów naturalnych, chemią środków bakteriobójczych, syntezą organiczną, fizykochemią organiczną, analizą spektroskopową, modelowaniem struktur, interesuje się także historią nauki i udziałem kobiet w nauce. Jest autorem lub współautorem blisko 60 publikacji naukowych oraz 20 książek z zakresu historii nauki w tym historii radioaktywności oraz biografii Marii Skłodowskiej-Curie, Ireny Joliot-Curie i Lise Meitner. Adres e-mail: tposp@amu.edu.pl

#### LITERATURA

- [1] Dewick P.M.: Medicinal Natural Products: A Biosynthetic Approach. 3<sup>rd</sup>Ed, John Wiley and Sons, Ltd., Publication: Chichester, West Sussex, United Kingdom, 2009, 275–277.
- [2] Bloch K.: Sterol molecule. Structure, biosynthesis, and function. Steroids 1992, 57, 378–383.
- [3] King S.R., Manna P.R., Ishii T., Syapin P.J., Ginsberg S.D., Wilson K., Walsh L.P., Parker K.L., Stocco D.M., Smith R.G., i in.: An essential component in steroid synthesis, the steroidogenic acute regulatory protein, is expressed in discrete regions of the brain. J. Neurosci. 2002, 22, 10613–10620.
- [4] Heinosaalo T., Saarinen N., Poutanen M.: Role of hydroxysteroid (17beta) dhydrogenase type 1 in reproductive tissues and hormone-dependent diseases. Mol. Cell. Endocrinol. 2019, 489, 9–31.
- [5] Kumar R., Chhillar N., Gupta D.S., Kaur G., Singhal S., Chauhan T.: Cholesterol homeostasis, mechanisms of molecular pathways, and cardiac health: A current outlook. Curr. Probl. Cardiol. 2024, 49, 102081.
- [6] Schiffer L., Barnard L., Baranowski E.S., Gilligan L.C., Taylor A.E., Arlt W., Shackleton C.H.L., Storbeck K.-H.: Human steroid biosynthesis, metabolism and excretion are differentially reflected by serum and urine steroid metabolomes: A comprehensive review. J. Steroid. Biochem. Mol. Biol. 2019, 194.
- [7] Li T., Francl J.M., Boehme S., Chiang J.Y.L.: Regulation of cholesterol and bile acid homeostasis by the cholesterol 7 $\alpha$ -hydroxylase/steroid response element-binding protein 2/microrna-33a axis in mice. Hepatology 2013, 58, 1111.
- [8] Chourpiliadis C., Aeddula N.R.: Physiology, glucocorticoids. [w:] StatPearls [internet], StatPearls Publishing: Treasure Island (FL), 2025. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK560897/>.
- [9] Zebosi B., Vollbrecht E., Best N.B.: Brassinosteroid biosynthesis and signalling: conserved and diversified functions of core genes across multiple plant species. Plant Commun. 2024, 5, 100982.
- [10] Niwa R., Niwa Y.S.: Enzymes for ecdysteroid biosynthesis: Their biological functions in insects and beyond. Biosci. Biotechnol. Biochem. 2014, 78, 1283–1292.
- [11] Pikuleva I.A.: Cytochrome P450s and cholesterol homeostasis. Pharm. Ther. 2006, 112, 761–773.
- [12] Pospieszny T.: Molecular pockets, umbrellas and quasi podands from steroids: synthesis, structure and applications. Mini-Rev. Org. Chem. 2015, 12, 258–270.
- [13] Hanson J.R.: Steroids: Partial synthesis in medicinal chemistry. Nat. Prod. Rep. 2010, 27, 887–899.
- [14] Wang H., Abe I.: Recent developments in the enzymatic modifications of steroid scaffolds. Org. Biomol. Chem. 2024, 22, 3559–3583.
- [15] Wang Y., Gui J.: Recent advances in the efficient synthesis of steroid natural products: Emerging methods and strategies. Chem. Soc. Rev. 2025, 54, 6807.
- [16] Kawka A., Koenig H., Pospieszny T.: Steroid and bioactive molecule conjugates: improving therapeutic approaches in disease management. Bioorg. Chem. 2024, 153, 107933.
- [17] Zasloff M., Adams A.P., Beckerman B., Campbell A., Han Z., Luijten E., Meza I., Julander J., Mishra A., Qu W., i in.: Squalamine as a broad-spectrum systemic antiviral agent with therapeutic potential. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 2011, 108, 15978–15983.
- [18] Alhanout K., Rolain J.M., Brunel J.M.: Squalamine as an example of a new potent antimicrobial agents class: A critical review. Curr Med Chem. 2010, 17, 3909–3917.
- [19] Boes A., Brunel J.M., Derouaux A., Kerff F., Bouhss A., Touze T., Breukink E., Terrac M.: Squalamine and aminosterol mimics inhibit the peptidoglycan glycosyltransferase activity of PBP1b. Antibiotics 2020, 9, 373.
- [20] Mammari N., Salles E., Beaussart A., El-Kirat-Chatel S., Varbanov M.: Squalamine and its aminosterol derivatives: Overview of biological effects and mechanisms of action of compounds with multiple therapeutic applications. Microorganisms 2022, 10, 1205.
- [21] Erazo-Oliveras A., Muñoz-Vega M., Salinas M.L., Wang X., Chapkin R.S.: Dysregulation of cellular membrane homeostasis as a crucial modulator of cancer risk. TFEBS J. 2024, 291, 1299–1352.
- [22] Chng C.-P., Hsia K.J., Huang C.: Modulation of lipid vesicle–membrane interactions by cholesterol. Soft Matter. 2022, 18, 7752–7761.
- [23] Cerqueira N.M.F.S.A., Oliveira E.F., Gesto D.S., Santos-Martins D., Moreira C., Moorthy H.N., Ramos M.J., Fernandes P.A.: Cholesterol biosynthesis: A mechanistic overview. Biochemistry 2016, 55, 5483–5506.
- [24] Bendi A., Vashisth C., Yadav S., Pundeer R., Raghav N.: Recent advances in the synthesis of cholesterol-based triazoles and their biological applications. Steroids 2024, 211, 109499.
- [25] Albuquerque H.M.T., Santos C.M.M., Silva A.M.S.: Cholesterol-based compounds: recent advances in synthesis and applications. Molecules 2019, 24, 116.
- [26] Bansal R., Suryan A.: A comprehensive review on steroidal bioconjugates as promising leads in drug discovery. ACS Bio. Med. Chem. Au 2022, 2, 340–369.
- [27] Svobodová H., Noponen V., Kolehmainen E., Sievänen E.: Recent advances in steroidal supramolecular gels. RSC Adv. 2012, 2, 4985–5007.
- [28] Ehsan M., Das M., Stern V., Du Y., Mortensen J.S., Hariharan P., Byrne B., Loland C.J., Kobilka B.K., Guan L., i in.: Steroid-based amphiphiles for membrane protein study: importance of alkyl spacer for protein stability. ChemBioChem 2018, 19, 1433–1443.
- [29] Worthmann A., John C., Rühlemann M.C., Baguhl M., Heinsen F.-A., Schaltenberg N., Heine M., Schlein C., Evangelakos I., Mineo C., i in.: Cold-induced conversion of cholesterol to bile acids in mice shapes the gut microbiome and promotes adaptive thermogenesis. Nat. Med. 2017, 23, 839–849.
- [30] Ferdinandusse S., Houten S.M.: Peroxisomes and bile acid biosynthesis. Biochim. Biophys. Acta 2006, 1763, 1427–1440.
- [31] Fleishman J.S., Kumar S.: Bile acid metabolism and signaling in health and disease: molecular mechanisms and therapeutic targets. Sig. Transduct. Target. Ther. 2024, 9, 1–51.

- [32] Fu Y., Guziar D.V., Okros M., Bridges C., Rosset S.L., González C.T., Martin C., Karunarathne H., Watson V.E., Quinn R.A.: Balance between bile acid conjugation and hydrolysis activity can alter outcomes of gut inflammation. *Nat. Commun.* 2025, 16, 3434.
- [33] Babu P., Sangeetha N.M., Maitra U.: Supramolecular chemistry of bile acid derivatives: formation of gels. *Macromol. Symp.* 2006, 241, 60–67.
- [34] García-Méndez J., López-Torres A., Fernández-Herrera M.A.: Improved synthesis and characterization of bile acid esters: Organogelation and supramolecular properties. *Steroids* 2025, 214, 109560.
- [35] Koh E., Freedman B.R., Ramazani F., Gross J., Graham A., Kuttler A., Weber, E., Mooney D.J.: Controlled delivery of corticosteroids using tunable tough adhesives. *Adv. Healthc. Mater.* 2023, 12, e2201000.
- [36] Kawka A., Koenig H., Pospieszny T.: From squalamine to triazole ring derivatives: exploring the versatility of steroidal bioconjugates. *Stud. Nat. Prod. Chem.* 2024, 82, 247–283.
- [37] Navacchia M.L., Marchesi E., Perrone D.: Bile acid conjugates with anticancer activity: most recent research. *Molecules* 2020, 26, 25.
- [38] Rathod N.V., Mishra S.: Bile acid-conjugate as a promising anticancer agent: Recent progress. *Curr. Med. Chem.* 2024, 31, 4160–4179.
- [39] Sai Ganapa M., Shekhar Mhatre S., Raut S.Y., Pandey A., Kalthur G., Mutalik S.: Novel oral drug delivery systems for steroids: Overview and recent updates. *Indian J. Pharm. Educ. Res.* 2020, 54, 541–549.
- [40] Pore V.S., Aher N.G., Kumar M., Shukla P.K.: Design and synthesis of fluconazole/bile acid conjugate using click reaction. *Tetrahedron* 2006, 62, 11178–11186.
- [41] Aher N.G., Pore V.S., Mishra N.N., Kumar A., Shukla P.K., Sharma A., Bhat M.K.: Synthesis and antifungal activity of 1,2,3-triazole containing fluconazole analogues. *Bioorg. Med. Chem. Lett.* 2009, 19, 759–763.
- [42] Pore V.S., Jagtap M.A., Agalave S.G., Pandey A.K., Siddiqi M.I., Kumar V., Shukla P.K.: Synthesis and antifungal activity of 1,5-disubstituted-1,2,3-triazole containing fluconazole analogues. *Med. Chem. Commun.* 2012, 3, 484.
- [43] Hao Y., Zhang F., Mo S., Zhao J., Wang X., Zhao Y., Zhang L.: Biomedical applications of supramolecular materials in the controllable delivery of steroids. *Front. Mol. Biosci.* 2021, 8, 700712.
- [44] Jiang H., Xu S., Xiang X., Zhao M., Wang Y., Liu X., Liu B., Chen Q.: Next-generation metal-organic frameworks: shaping the future of steroid compound management. *ACS Omega* 2025, 10, 9890–9902.
- [45] Agarwal D.S., Sakhuja R., Beteck R.M., Legoabe L.J.: Steroid-triazole conjugates: A brief overview of synthesis and their application as anticancer agents. *Steroids* 2023, 197, 109258.
- [46] Khandelwal R., Vasava M., Abhirami R.B., Karsharma M.: Recent advances in triazole synthesis via click chemistry and their pharmacological applications: A review. *Bioorg. Med. Chem. Lett.* 2024, 112, 129927.
- [47] Hein J.E.; Fokin V.V.: Copper-catalyzed azide-alkyne cycloaddition (cuAAC) and beyond: new reactivity of copper(I) acetylides. *Chem. Soc. Rev.* 2010, 39, 1302–1315.
- [48] González-Lainez M., Gallegos M., Munarriz J., Azpiroz R., Passarelli V., Jiménez M.V., Pérez-Torrente J.J.: Copper-catalyzed azide-alkyne cycloaddition (cuAAC) by functionalized nhc-based polynuclear catalysts: Scope and mechanistic insights. *Organometallics* 2022, 41, 2154–2169.
- [49] Sokolova N.V., Latyshev G.V., Lukashev N.V., Nenajdenko V.G.: Design and synthesis of bile acid-peptide conjugates linked via triazole moiety. *Org. Biomol. Chem.* 2011, 9, 4921–4926.
- [50] Hein C.D., Liu X.-M., Wang D.: Click chemistry: A powerful tool for pharmaceutical sciences. *Pharm. Res.* 2008, 25, 2216–2230.
- [51] Navacchia M., Marchesi E., Mari L., Chinaglia N., Gallerani E., Gavioli R., Capobianco M., Perrone D.: Rational design of nucleoside-bile acid conjugates incorporating a triazole moiety for anticancer evaluation and SAR exploration. *Molecules* 2017, 22, 1710.
- [52] Vatmurge N.S., Hazra B.G., Pore V.S., Shirazi F., Chavan P.S., Deshpande M.V.: Synthesis and antimicrobial activity of  $\beta$ -lactam-bile acid conjugates linked via triazole. *Bioorg. Med. Chem. Lett.* 2008, 18, 2043–2047.
- [53] Shiri P.: Novel hybrid molecules based on triazole- $\beta$ -lactam as potential biological agents. *Mini Rev. Med. Chem.* 2021, 21, 536–553.
- [54] Kawka A., Hajdaś G., Kułaga D., Koenig H., Kowalczyk I., Pospieszny T.: Molecular structure, spectral and theoretical study of new type bile acid-sterol conjugates linked via 1,2,3-triazole ring. *J. Mol. Struct.* 2023, 273, 134313.
- [55] Koenig H., Pospieszny T.: Design, synthesis, spectral and theoretical study of new bile acid-sterol conjugates linked via 1, 2, 3-triazole ring. *Steroids* 2021, 176, 108934.
- [56] Kawka A., Koenig H., Nowak D., Pospieszny T.: Quasi-podands with 1,2,3-triazole rings from bile acid derivatives: Synthesis, and spectroscopic and theoretical studies. *J. Org. Chem.* 2024, 89, nr 11, 7561–7572.
- [57] Bahsoun A., Fakhri Y., Zareef R., Bitar F., Arabi M.: Corticosteroids in COVID-19: pros and cons. *Front. Med.* 2023, 10, 1202504.
- [58] Horby P., Lim W.S., Emberson J.R., Mafham M., Bell J.L., Linsell L., Staplin N., Brightling C., Ustianowski A., et al.: Dexamethasone in hospitalized patients with Covid-19. *N. Engl. J. Med.* 2021, 384, 693–704.
- [59] Cârstea A.P., Mită A., Fortofoiu M.-C., Doica I.P., Cârstea D., Beznă C.M., Negroiu C.E., Diaconu I.-D., Georgescu A.-R., Kamal A.M., et al.: How dexamethasone used in anti-COVID-19 therapy influenced antihypertensive treatment in patients with SARS-CoV-2. *Healthcare* 2023, 11, nr 10, 1399.
- [60] Ozturk H.A., Arici F.N.: The relationship between steroid treatment and mortality in patients with COVID-19 followed up in an intensive care unit. *Peer J.* 2025, 13, e18606.

**przemysł chemiczny**  
publikuj w trybie  
**OPEN ACCESS**

**KONTAKT Z NAMI**

publikacje naukowe  
[www.przemyslchemiczny.com](http://www.przemyslchemiczny.com)

redakcja czasopisma  
[przemyslchemiczny@sigma-not.pl](mailto:przemyslchemiczny@sigma-not.pl)