

Związki powstające w czasie fermentacji winiarskiej

The Compounds produced during Wine Fermentation

dr Sylwia Bonin

Katedra Biotechnologii, Mikrobiologii i Oceny Żywności, Wydział Nauk o Żywności, SGGW w Warszawie

Słowa kluczowe: produkty uboczne, jakość, wino, fermentowane produkty winiarskie

Keywords: by-products, quality, wine, fermented wine products

Ethanol and carbon dioxide are the main products of wine fermentation. In this process many other chemicals compounds, described as by-products, are produced. The third quantitatively product of fermentation is glycerol. The next components are: aldehydes, esters, organic acids and other alcohols, including higher alcohols. These compounds influence the quality of finished wine product. The amount of these compounds depends on yeast strain, must composition and different fermentation conditions.

Głównymi produktami fermentacji winiarskiej są etanol i dwutlenek węgla. W procesie tym powstaje także wiele innych związków chemicznych, określanych jako uboczne produkty fermentacji. Trzecim pod względem ilości związkiem wytwarzanym w czasie fermentacji jest glicerol, kolejne grupy to m.in.: aldehydy, estry, kwasy organiczne, inne alkohole, w tym alkohole wyższe. Związki te wpływają na jakość gotowego wyrobu winiarskiego, a ich ilość zależy od zastosowanego szczepu drożdży, składu moszczu/nastawu oraz warunków fermentacji.

Wstęp

Fermentacja alkoholowa to proces beztlenowego przekształcania cukrów, głównie heksoz, do etanolu i dwutlenku węgla. W przemyśle fermentacyjnym wykorzystywane są najczęściej drożdże szlachetne z gatunku *Saccharomyces cerevisiae*. W zależności od stosowanego surowca i otrzymywanego produktu stosuje się drożdże: winiarskie, browarnicze, gorzelnicze lub piekarskie. Różnią się one ilością produkowanego etanolu, a tym samym odpornością na początkowe stężenie cukrów, warunkami fermentacji oraz zdolnością do syntezy ubocznych produktów fermentacji. Związki te są niezwykle istotne dla jakości wyrobów winiarskich oraz piw, natomiast są usuwane podczas produkcji spirytusu. Stąd na podstawie składu produktów ubocznych fermentacji można odróżnić fermentowane wyroby winiarskie od wyrobów spirytusowych, które mogą powstać w wyniku połączenia destylatów, aromatów, substancji słodzących oraz barwiących.

Drożdże winiarskie, w porównaniu z pozostałymi szczepami drożdży szlachetnych, są zdolne do syntezy największej ilości etanolu, a tym samym odporne są na najwyższe stężenia cukrów w podłożu. W zależności od ilości wytwarzanego alkoholu wyróżnia się drożdże produkujące małą zawartość alkoholu (9–12% obj.), średnią (12–15% obj.) oraz wysokie stężenie etanolu (15–18% obj.) [19]. W przypadku niektórych szczepów poziom etanolu może osiągnąć nawet 19% obj. [3]. Ilość wytworzonego etanolu zależy przede wszystkim od początkowej ilości cukrów w nastawie, tj. cukrów zawartych w moszczu i/lub cukrów dodanych, a poza tym od zastosowanego szczepu drożdży; wpływ ma także temperatura fermentacji, zawartość tlenu i związków azotowych, obecność aktywatorów fermentacji oraz ilość dodanego dwutlenku siarki [1, 19].

W modelowym procesie fermentacji winiarskiej podłoża zawierającego 22–24% cukrów drożdże *Saccharomyces* przekształcają 95% cukrów do etanolu i CO₂, 1% wykorzystywane jest na procesy życiowe, a z pozostałych 4% syntetyzowane są inne produkty fermentacji [8]. Do innych produktów fermentacji zalicza się m.in. kwasy organiczne, estry, aldehydy i alkohole wyższe, które stanowią „bukiet fermentacyjny” i istotnie wpływają na jakość końcową wyrobów winiarskich. Jednak ostateczny charakter wyrobów winiarskich kształtują także związki pochodzące z surowca oraz związki powstałe w procesie leżakowania. Ilość zidentyfikowanych związków aromatycznych w winach wynosi ok. 800 [11, 18], a ich stężenie jest bardzo zróżnicowane od mg/L do µg/L, a nawet ng/L [6, 18]. Jednak wiele z tych związków nie ma wpływu na aromat [8].

Glicerol

Podczas fermentacji alkoholowej trzecim pod względem ilościowym wytwarzanym związkiem, po etanolu i dwutlenku węgla, jest glicerol. Powstaje on w wyniku redukcji fosfodihydroksyacetonu do glicerolo-3-fosforanu, a następnie jego defosforylacji do glicerolu. Rolą glicerolu jest zrównoważenie wewnątrzkomórkowego bilansu redoks przez przemianę nadmiaru NADH do NAD⁺, co zapewnia drożdżom ochronę w warunkach stresu osmotycznego [15, 16]. Poziom glicerolu w wyrobach winiarskich zależy od: zastosowanego szczepu drożdży, początkowej zawartości cukrów, pH moszczu, zawartości SO₂ oraz temperatury fermentacji. Na 100 g wytworzonego etanolu powstaje od 5 do 14 g glicerolu. Najczęściej stosunek zawartości glicerolu do etanolu wynosi 6–10% [19]. Wina gronowe zawierają od 4 do 12 g/L glicerolu, przy czym wina czerwone zawierają go więcej w porównaniu z winami białymi [10, 16]. Glicerol jest składnikiem ekstraktu bezcukrowego i stanowi ok. 30% jego zawartości [19].

Glicerol nie ma wpływu na aromat win, ponieważ jest bezzapachowy, jednak dzięki swej gęstej, oleistej konsystencji odgrywa istotną rolę w kształtowaniu smaku wyrobów winiarskich – nadaje napojom aksamitny posmak, uczucie większej ekstraktywności i pełni smakowej [16, 5]. Glicerol przyczynia się do większej lepkości win, co można obserwować w kieliszku, gdy napój powoli spływa po jego ściankach, pozostawiając charakterystyczne „palce”. Według Gawel i wsp. [5] odczuwalny wzrost lepkości następował, gdy modelowe wina zawierały od 7,2 g/L glicerolu. Jednocześnie cytowani autorzy stwierdzili, że również wzrost zawartości etanolu wpływał korzystnie na odczucie lepkości win. Natomiast inni badacze zaobserwowali, że glicerol łagodzi piekący i szorstki smak etanolu, a ponadto wzmacnia owocowe nuty związków aromatycznych [7]. Z drugiej strony, Nurgel i Pickering [12] podają, że glicerol ma niewielki wpływ na lepkość i gęstość modelowych win lodowych. Należy jednak zaznaczyć, że ten rodzaj win charakteryzuje się bardzo wysoką zawartością cukrów. Według Pickeringa [14] lodowe wina kanadyjskie mają 214,8 g/L cukrów resztkowych, a poziom glicerolu wynosił 12,4 g/L.



Kwasy organiczne

Po glicerolu, kolejnym pod względem ilości związkami jest kwas octowy. Powstaje on w wyniku przekształcenia etanolu do aldehydu octowego, a następnie przemiany tego aldehydu przy udziale dehydrogenazy aldehydowej do kwasu octowego. Zawartość kwasu octowego w wyrobach winiarskich zależy od szczepu drożdży winiarskich, zawartości cukrów w nastawie i temperatury fermentacji [19]. Lambrechts i Pretorius [8] podają, że wyczuwalne stężenie kwasu octowego wynosi 0,7–1 g/L i zależy od stylu wina. Autorzy ci cytują innych badaczy, według których poziom wyczuwalności kwasu octowego może wynosić zaledwie 0,1–0,25 g/L.

Kwas octowy oraz jego homologi, w formie wolnej i związanej, kształtują kwasowość lotną. Normy maksymalnego poziomu kwasowości lotnej są określane prawnie. W zależności od kraju kształtują się na poziomie 1,0–1,5 g/L [8]. Zgodnie z obowiązującym w Polsce ustawodawstwem, kwasowość lotna wyrobów fermentowanych, wyrażona jako kwas octowy, nie może przekraczać 1,3 g/L, a w przypadku napoju winnego owocowego lub miodowego oraz aromatyzowanego napoju winnego owocowego lub miodowego powinna być w ilości nie większej niż 0,9 g/L [17].

W procesie fermentacji poza kwasem octowym powstają inne kwasy organiczne. Jednym z nich jest kwas bursztynowy, który występuje w winach w stężeniu 0,5–1,5 g/L [10]. W cydrach stwierdzano go na poziomie 0,2–0,9 g/L [13]. Kolejnym kwasem syntetyzowanym przez drożdże, na poziomie 0,2–0,4 g/L, jest kwas mlekowy. Większe ilości tego związku powstają podczas bakteryjnego przekształcania kwasu jabłkowego w mlekowy, czyli fermentacji jabłkowo-mlekowej [10]. Suma kwasów organicznych powstałych w czasie fermentacji oraz kwasów obecnych w moszczu/nastawie poddawanym fermentacji tworzy kwasowość ogólną. W przypadku fermentowanych napojów winiarskich kwasowość ogólna, wyrażona jako kwas jabłkowy, powinna wynosić od 3,5 do 9 g/L, a w przypadku napoju winnego owocowego lub miodowego oraz aromatyzowanego napoju winnego owocowego lub miodowego od 3,5 do 7 g/L [17].

Aldehydy

Do produktów ubocznych fermentacji należą także aldehydy. W procesie fermentacji najwięcej powstaje aldehydu octowego, który stanowi ok. 90% ilości ogólnego aldehydów obecnych w wyrobach winiarskich [8]. Aldehyd octowy jest ostatnim ważnym związkiem łańcuchowej reakcji fermentacji alkoholowej, ponieważ jest zredukowany do etanolu. Jednak pewna jego ilość nie zostaje przekształcona do etanolu i pozostaje w produkcie. Zawartość aldehydu octowego w wyrobach winiarskich jest bardzo zróżnicowana i kształtuje się na poziomie 10–200 mg/L [10]. Aldehydy mogą wpływać korzystnie na aromat – nadając owocowe, roślinne i orzechowe nuty, ale mogą one być też ostre, gryzące, cierpkie. Przykładowo, aldehyd octowy charakteryzuje się aromatem zielonego jabłka i kwaśnym, aldehyd benzoowy jest migdałowy, izobutanal ma zapach delikatnego jabłka, pentanal przy niskich stężeniach jest owocowy, lekko kawowy, a przy wyższych – duszący [8]. Zawartość aldehydów w wyrobach winiarskich zależy głównie od szczepu drożdży użytych w procesie fermentacji, składu moszczu/nastawu, natlenienia, temperatury fermentacji [8, 19]. Wyższa zawartość aldehydów nie jest wskazana w winach stołowych i musujących, natomiast bardzo korzystna w winach Sherry, w których właśnie aldehydy nadają typowy charakter tych napojów. Poza aldehydem octowym wina Sherry mają dużo aldehydów rozgałęzionych, charakteryzujących się zapachem suszonych owoców. Wina poddane działaniu tlenu (maderyzacji) charakteryzują się znacznym udziałem aldehydów łańcuchowych, a w winach Porto stwierdzono obie grupy aldehydów [4].

Estry

Estry należą do największej (pod względem liczby zidentyfikowanych związków chemicznych) i najważniejszej grupy związków wpływających na owocowe i kwiatowe aromaty wyrobów winiarskich. Powstają one głównie w okresie burzliwej fermentacji, w mniejszej ilości w czasie dojrzewania. Stężenie estrów zależy od szczepu drożdży winiarskich, składu moszczu oraz warunków fermentacji. Estry powstają w wyniku reakcji pomiędzy alkoholami a kwasami [8]. Acetylotransferaza przenosi grupę acylową z acylo-koenzymu A na etanol lub inny alkohol. Najczęściej grupą acylo-CoA jest acetylokoenzym A, stąd znaczny udział estrów będących

pochodnymi kwasu octowego. Maksymalna koncentracja estrów występuje, gdy drożdże osiągną stacjonarną fazę wzrostu. Istnieją trzy przyczyny, dla których drożdże syntetyzują estry. Pierwszą jest zmniejszenie toksyczności związków, ponieważ estry są mniej toksyczne od ich prekursorów – alkoholi i kwasów. Druga to mechanizm regeneracji wolnego koenzymu A. Trzecia przyczyna jest ewolucyjna – zwiększenie atrakcyjności zapachowej wina dla owadów, co pozwala przenosić drożdże w inne miejsca [2].

Głównym estrem występującym w wyrobach winiarskich jest octan etylu. Jego stężenie wynosi z reguły od 30 do 70 mg/L. Większe ilości przyczyniają się do pogorszenia zapachu win [10]. Wina zawierające powyżej 90 mg/L octanu etylu i powyżej 200 mg/L ogólnej ilości estrów są złej jakości sensorycznej [2]. Octan etylu przy niskim stężeniu podkreśla owocowe nuty napojów, a przy wysokim stężeniu ma zapach lakieru, zmywacza do paznokci [8]. Poza octanem etylu w wyrobach winiarskich znaczny udział mają estry kwasu octowego i alkoholi wyższych oraz estry etanolu i kwasów tłuszczowych, które występują w ilościach poniżej 1 mg/L (wartości dziesiętne) lub kilku mg/L [9, 18]. Istotne dla aromatu estry kwasu octowego to: octan izoamylu – bananowy; octan izobutyli – owocowy; octan fenetylu – owocowy, różany; octan heksylu – owocowy, gruszkowy. Natomiast najczęściej występujące estry etanolu i kwasów tłuszczowych to estry etylowe następujących kwasów: heksanowego – aromat podaje się jako owocowy, anyżowy, fiołkowy; oktanowego – brzoskwiński, gruszkowy; dekanowego – owocowy, kwiatowy; dodekanowego – również owocowy i kwiatowy [6, 8]. Estry długołańcuchowych kwasów tłuszczowych nie są korzystne, ponieważ przyczyniają się do zapachu mydła, wosku. Należy dodać, że niewielka ilość estrów w wyrobach winiarskich pochodzi z owoców. Ponadto, jeżeli w czasie dojrzewania zachodzi fermentacja jabłkowo-mlekowa, to proces ten może wpływać na zawartość estrów [2, 8].

Alkohole wyższe

Alkohole wyższe to alkohole charakteryzujące się wyższą masą molową i wyższą temperaturą wrzenia niż etanol, stąd ich nazwa. Potocznie alkohole wyższe określa się fuzlami [8].

Alkohole wyższe powstają w czasie fermentacji. Główny szlak (opisany po raz pierwszy przez Ehrlicha) tworzenia tych związków jest związany z metabolizmem azotu. W komórce drożdży aminokwasy ulegają deaminacji do α -ketokwasów, które są dekarboksylowane (na tym etapie powstają aldehydy), następnie zredukowane lub utleniane do odpowiednich alkoholi wyższych. Ten ostatni etap związany jest z przemianą $\text{NADH} + \text{H}^+$ do NAD^+ (redukcja) lub NAD^+ do $\text{NADH} + \text{H}^+$ (oksydacja) [2]. Stąd proces syntezy alkoholi wyższych umożliwia komórkom drożdży zachowanie właściwego bilansu redoks oraz zmniejsza poziom toksycznych aldehydów. Główne aminokwasy i powstające z nich alkohole wyższe to: walina – izobutanol, leucyna – alkohol izoamylowy, izoleucyna – alkohol amylovany, treonina – propanol, fenyloalanina – alkohol fenetylowy [8]. Alkohole wyższe powstają także, w mniejszej ilości, jako produkty uboczne fermentacji cukrów. Heksozy są przekształcane do kwasu pirogronowego, który ulega przemianom do α -ketokwasów, z których powstają aldehydy, a z nich odpowiednie alkohole wyższe [8, 19].

Alkohole wyższe mają ostry, gryzący zapach i smak, a ich ogólna ilość w wyrobach winiarskich waha się w granicach od poniżej 100 mg/L do 500 mg/L. W stężeniach przekraczających 300 mg/L są niepożądane ze względu na niekorzystny wpływ na cechy sensoryczne. Natomiast podwyższone stężenia alkoholi wyższych mają pozytywny wpływ na jakość otrzymanych z win destylatów [8, 10]. Alkohole wyższe w niewielkich ilościach przyczyniają się do poprawy cech sensorycznych, poza wspomnianym gryzącym aromatem fuzlowym, nadają zapach czystego alkoholu (propanol), ziołowy, zielonej trawy (heksanal), różany (alkohol fenetylowy), cytrusowy (1-oktanol) [6].

W wyrobach winiarskich najwięcej powstaje alkoholu izoamylowego. Inne alkohole wyższe, które powstają w istotnych ilościach to izobutanol, propanol, alkohol fenetylowy [2, 13]. Jiang i Zhang [6] stwierdzili w winach całkowitą zawartość alkoholi wyższych na poziomie 130–256 mg/L, z czego alkohol izoamylowy stanowił powyżej 70% ogółu tych związków. W innych badaniach zaobserwowano, że wina zawierały prawie 300 mg/L alkoholi wyższych, z czego prawie połowa

przypadała na alkohol izoamylowy [18]. Mateo i wsp.[9] podają, że w zależności od zastosowanego szczepu i ilości dodanych drożdży poziom alkoholu izoamylowego wynosił 246–377 mg/L. Zawartość wybranych alkoholi wyższych przedstawiono w tabeli 1.

Alkohol metylowy

Metanol nie jest bezpośrednim produktem fermentacji alkoholowej, jednak powstaje głównie w czasie fermentacji. Jego źródłem są pektyny obecne w owocach, stąd powstaje on w winach i cydrach otrzymanych ze świeżych owoców. Pektyny są kopolimerami kwasu galakturonowego i jego estru metylowego. W wyniku hydrolizy estru metylowego, pod wpływem pektynometyloestery, powstaje metanol. W skórkach jest więcej pektyn niż w soku, dlatego też gronowe wina białe zawierają mniej metanolu niż wina czerwone. W winach białych stwierdza

Tabela 1. Wybrane alkohole wyższe powstające w fermentacji winiarskiej

Alkohol	Ilość [mg/L]	Literatura
Ogólna ilość alkoholi wyższych	100–500 > 300 negatywny wpływ	8,10
Izoamylowy	100–180	6
	około 150	9
	246–377	18
Izobutanol	2,7–22	6
	73–157	9
	17–25	18
Propanol	2,7–6,5	6
	30–55	9
	30–80	18
Fenetylowy	9–14	6
	74–159	9
	9–25	18

Tabela 2. Główne związki powstające w czasie fermentacji winiarskiej

Związek	Ilość
Glicerol	4–14 g/100 g etanolu
Kwas octowy jako kwasowość lotna	do 1,3 g/L
Aldehyd octowy	10–200 mg/L
Estry ogółem, w tym: octan etylu	30–200 mg/L 30–90 mg/L
Alkohole wyższe	100–400 mg/L

się metanol na poziomie 40–120 mg/L, a w czerwonych 120–250 mg/L [10]. W cydrach arturiańskich metanol obserwowano w ilości od 40 do 160 mg/L [13]. W winach otrzymanych z soków lub zagęszczonych soków metanol praktycznie nie występuje lub jest na bardzo niskim poziomie. Wynika to z faktu, że podczas produkcji tych soków następuje proces depektynizacji, czyli usunięcia pektyn z moshczu [19].

Podsumowanie

Związki powstające podczas fermentacji winiarskiej w istotny sposób kształtują charakter gotowego produktu. Zastosowanie coraz lepszej metodyki badawczej pozwala poznać coraz lepiej skład chemiczny różnych wyrobów winiarskich. Jednak niezależnie od zastosowanego surowca i warunków procesu fermentacji związki takie, jak: glicerol, kwas octowy, aldehyd octowy, octan etylu i alkohol izoamylowy zawsze są obecne w produkcie w istotnych ilościach (tabela 2).

Literatura

- [1] Bauer F. F., I. S. Pretorius. 2000. „Yeast stress response and fermentation efficiency: how to survive the making of wine-a review”. *South African Journal for Enology and Viticulture* 21, 27–51.
- [2] Belda I., J. Ruiz, A. Esteban-Fernández, E. Navascués, D. Marquina, A. Santos, M. Moreno-Arribas. 2017. „Microbial contribution to wine aroma and its intended use for wine quality improvement”. *Molecules* 22 (2), p. 189.



EKO-MIX COMPANY
55-080 Kąty Wrocławskie
ul. 1 Maja 11
tel. 71 316 72 14
fax 71 316 73 06
ekomix@ekomix.com.pl
www.ekomix.com.pl

USZCZELKI, SERWIS PŁYTOwych WYMIENNIKÓw CIĘPŁA

- L[®] ✓ Wszystkie typy i modele, krajowe i zagraniczne
- A ✓ Krótkie terminy dostaw
- Y ✓ Serwis - wymiana uszczeltek, czyszczenie płyt
- G ✓ Uszczelki posiadają atest PZH
- O ✓ Działamy zgodnie z ISO 9001:2000

- [3] Bugajewska Anna, Wiesław Wzorek. 1997. „Wpływ długotrwałej adaptacji środowiskowej drożdży *Saccharomyces cerevisiae* rasy Bratysława na fermentację winiarską i wybrane cechy komórek”. *Przemysł Fermentacyjny i Owocowo-Warzywny* 5, 11–13.
- [4] Culleré L., J. Cacho, V. Ferreira. 2007. „An assessment of the role played by some oxidation-related aldehydes in wine aroma”. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 55 (3) : 876–881.
- [5] Gawel R., S. V. Sluyter, E. J. Waters. 2007. „The effects of ethanol and glycerol on the body and other sensory characteristics of Riesling wines”. *Australian Journal of Grape and Wine Research* 13 (1) : 38–45.
- [6] Jiang B., Z. Zhang. 2010. „Volatile compounds of young wines from Cabernet Sauvignon, Cabernet Gernischet and Chardonnay varieties grown in the Loess Plateau Region of China”. *Molecules* 15 (12) : 9184–9196.
- [7] Jones P. R., R. Gawel, I. L. Francis, E. J. Waters. 2008. „The influence of interactions between major white wine components on the aroma, flavour and texture of model white wine”. *Food Quality and Preference* 19 (6) : 596–607.
- [8] Lambrechts M. G., I. S. Pretorius. 2000. „Yeast and its importance to wine aroma – a review”. *South African Journal for Enology and Viticulture* 21, 97–129.
- [9] Mateo J. J., M. Jiménez, A. Pastor, T. Huerta. 2001. „Yeast starter cultures affecting wine fermentation and volatiles”. *Food Research International* 34 (4) : 307–314.
- [10] Margalit Y. 2014. *Technologia produkcji wina*. Powszechnie Wydawnictwo Rolnicze i Leśne.
- [11] Marti M. P., M. Mestres, C. Sala, O. Busto, J. Guasch. 2003. „Solidphase microextraction and gas-chromatography olfactometry analysis of successively diluted samples. A new approach of the aroma extract dilution analysis applied to the characterization of wine aroma”. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 51, 7861–7865.
- [12] Nurgel C., G. Pickering. 2005. „Contribution of glycerol, ethanol and sugar to the perception of viscosity and density elicited by model white wines”. *Journal of Texture Studies* 36 (3) : 303–323.
- [13] Picinelli A., B. Suárez, J. Moreno, R. Rodriguez, L. M. Caso-García, J. J. Mangas. 2000. „Chemical characterization of Asturian cider”. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 48 (9) : 3997–4002.
- [14] Pickering G. 2006. „Icewine-The frozen truth. In Sixth international cool climate symposium for viticulture & oenology: Wine growing for the future”. Christchurch, New Zealand.
- [15] Remize F., J. L. Roustan, J. M. Sablayrolles, P. Barre, S. Dequin. 1999. „Glycerol overproduction by engineered *Saccharomyces cerevisiae* wine yeast strains leads to substantial changes in by-product formation and to a stimulation of fermentation rate in stationary phase”. *Applied and Environmental Microbiology* 65 (1) : 143–149.
- [16] Remize F., J. M. Sablayrolles, S. Dequin. 2000. „Re-assessment of the influence of yeast strain and environmental factors on glycerol production in wine”. *Journal of Applied Microbiology* 88 (3) : 371–378.
- [17] Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 22 maja 2013 r. w sprawie rodzajów fermentowanych wyrobów winiarskich oraz szczegółowych wymagań organoleptycznych, fizycznych i chemicznych, jakie powinny spełniać te napoje, Dz.U. 2013 nr 0 poz. 633.
- [18] Torrea D., P. Fraile, T. Garde, C. Ancin. 2003. „Production of volatile compounds in the fermentation of chardonnay musts inoculated with two strains of *Saccharomyces cerevisiae* with different nitrogen demands”. *Food Control*, 14 (8) : 565–571.
- [19] Wzorek Wiesław, Eugeniusz Pogorzelski. 1998. *Technologia winiarstwa owocowego i gronowego*, Wydawnictwo SIGMA-NOT.