

Measurement uncertainty of ethyl alcohol concentration in the exhaled breath of drivers and determination of sobriety at the time of incident

Niepewność pomiaru stężenia alkoholu etylowego w powietrzu wydychanym kierowców oraz ustalenia stanu trzeźwości w chwili zdarzenia

Karolina Szala^[1], Karolina Sekuła^[1], Dominika Jama^[1], Marek Wiergowski^[2]

[1] Instytut Ekspertyz Sądowych im. Prof. dra Jana Sehna w Krakowie

[2] Katedra i Zakład Medycyny Sądowej, Wydział Lekarski, Gdański Uniwersytet Medyczny

Abstract

The aim of the study was to determine the components of measurement uncertainty in the concentration of alcohol in exhaled breath and to determine the state of sobriety at the time of incident. Based on the literature review and the authors' experience in providing opinions for law enforcement and the judiciary, the influence of various factors on the final interpretation of sobriety state is described on the basis of measurement uncertainty of breath analyzers, uncertainty of retrospective and prospective calculations, and uncertainty related to the conversion of alcohol concentrations detected during breath and blood tests. The paper pays particular attention to interpreting the concentrations of ethanol in exhaled breath close to the legal limits of the state of sobriety and the state after alcohol use, or the state after alcohol use and the state of insobriety.

Analyzing the results of an exhaled breath test concerning concentrations close to the values of 0.1 mg/dm³ and 0.25 mg/dm³, it is necessary to take into account the factors affecting the measurements obtained, including the measurement uncertainty of the determination of alcohol in exhaled breath, the processes of absorption, distribution and metabolism of ethyl alcohol, and the possibility of the presence of alcohol lingering in the oral cavity. The incorrect execution of measurements of the tested person's alcohol concentration is also a problematic issue. When determining sobriety state by means of retrospective and prospective calculations, it is important to remember that the uncertainty of the result is affected by a number of factors and depends, among other things, on the information provided by the suspect. Hence, the expert should draw conclusions particularly cautiously and any overestimation or underestimation of the components of uncertainty can lead to erroneous conclusions. Awareness of the uncertainties inherent in the results of a sobriety test or alcohol calculation allows for meaningful interpretation of test results and determination of the sobriety state of the person tested.

Keywords

measurement uncertainty, breath alcohol concentration, prospective and retrospective calculations, state after alcohol use and insobriety state, lingering alcohol

Streszczenie

Celem pracy było określenie składowych niepewności pomiaru stężenia alkoholu w powietrzu wydychanym oraz ustalenia stanu trzeźwości w chwili zdarzenia. Na podstawie przeglądu piśmiennictwa oraz doświadczenia autorów w zakresie opiniowania dla potrzeb organów ścigania i wymiaru sprawiedliwości, opisano wpływ różnych czynników na końcową interpretację stanu trzeźwości na podstawie: niepewności pomiarowej analizatorów wydechu, niepewności obliczeń retrospektywnych i prospektywnych oraz niepewności związanej z przekształcaniem stężeń alkoholu stwierdzonych podczas badania powietrza wydychanego i krwi. W pracy zwrócono szczególną uwagę na interpretację stężeń etanolu w powietrzu wydychanym w pobliżu prawnych granic stanu trzeźwości i stanu po użyciu alkoholu lub stanu po użyciu alkoholu i stanu nietrzeźwości.

Analizując wyniki badania powietrza wydychanego dotyczące stężeń bliskich wartości 0,1 mg/dm³ oraz 0,25 mg/dm³, należy wziąć pod uwagę czynniki wpływające na uzyskane pomiary m.in. niepewność pomiarową oznaczenia alkoholu w powietrzu wydychanym, procesy wchłaniania, dystrybucji i metabolizmu alkoholu etylowego oraz możliwość występowania alkoholu zalegającego w jamie ustnej. Problematyczną kwestią jest również nieprawidłowe wykonanie pomiarów stężenia alkoholu osoby badanej. Przy ustaleniu stanu trzeźwości za pomocą obliczeń retrospektywnych i prospektywnych należy pamiętać, że na niepewność wyniku ma wpływ wiele czynników i zależą one m.in. od informacji przekazanych przez osobę podejrzaną. Stąd biegły powinien wyciągać wnioski szczególnie ostrożnie a każde przeszacowanie lub niedoszacowanie składowych niepewności może prowadzić do błędnych wniosków. Świadomość niepewności, jakimi obciążone są wyniki badania stanu trzeźwości czy obliczeń alkoholowych, pozwala na miarodajną interpretację wyników badań i ustalenie stanu trzeźwości osoby badanej.

Słowa kluczowe

niepewność pomiaru, stężenie alkoholu w powietrzu wydychanym, obliczenia prospektywne i retrospektywne, stan po użyciu alkoholu i nietrzeźwości, alkohol zalegający

1. Introduction

The problem of providing opinions on the sobriety state of drivers is interdisciplinary in nature, in which legal, medical (toxicological) and metrological issues intermingle. In Polish law, "state after the use of alcohol" is defined by Article 46 of the Act of October 26, 1982 on Upbringing in Sobriety and Counteracting Alcoholism [1], according to which this state occurs when:

- blood alcohol content is between 0.2 and 0.5 per mille or leads to such a concentration, or
- the presence of alcohol is between 0.1 mg and 0.25 mg in 1 dm³ of exhaled breath, or leads to such a concentration.

The term "state of insobriety" is described in the aforementioned Act and in Article 115 §16 of the Criminal Code (CC) [2], according to which this state occurs when:

- blood alcohol content exceeds 0.5 per mille or leads to the concentration exceeding this value, or
- alcohol content in 1 dm³ of exhaled breath exceeds 0.25 mg, or leads to the concentration exceeding this value.

A person driving a vehicle while in a state after the use of alcohol commits a misdemeanor, which is subject to imprisonment, a fine and the retention of a driver's license for up to 3 years [3]. Driving in a state of insobriety, on the other hand, is

1. Wstęp

Problematyka opiniowania w sprawach dotyczących stanu trzeźwości kierowców ma charakter interdyscyplinarny, w której wzajemnie przenikają się zagadnienia prawne, medyczne (toksykologiczne) oraz metrologiczne. W prawie polskim „stan po użyciu alkoholu” definiuje art. 46 Ustawy z dnia 26 października 1982 roku o wychowaniu w trzeźwości i przeciwdziałaniu alkoholizmowi [1], zgodnie, z którym stan ten występuje, gdy:

- zawartość alkoholu we krwi wynosi od 0,2 do 0,5 promila albo prowadzi do takiego stężenia lub
- obecność alkoholu wynosi od 0,1 mg do 0,25 mg w 1 dm³ wydychanego powietrza albo prowadzi do takiego stężenia.

Pojęcie „stanu nietrzeźwości” opisuje ww. Ustawa oraz art. 115 §16 kodeksu karnego (kk) [2] według, którego stan ten zachodzi, gdy:

- zawartość alkoholu we krwi przekracza 0,5 promila albo prowadzi do stężenia przekraczającego tę wartość lub
- zawartość alkoholu w 1 dm³ wydychanego powietrza przekracza 0,25 mg albo prowadzi do stężenia przekraczającego tę wartość.

Osoba kierująca pojazdem znajdująca się w stanie po użyciu alkoholu popełnia wykroczenie, które jest zagrożone karą aresztu, grzywny i zatrzymaniem prawa jazdy do lat 3 [3].

classified as a crime. On October 1, 2023, according to an amendment to the Criminal Code, the punishment for committing this act increased from 2 to 3 years' imprisonment. Legislative changes also concerned the inclusion of an additional provision in Article 178 §1 of the Criminal Code that takes into account alcohol consumption after the incident. In certain cases, the act is subject to a punishment: "imprisonment stipulated for the crime attributed to the perpetrator in the amount from the lower limit of the statutory threat increased by half to the upper limit of this threat increased by half." It should also be mentioned that as of March 14, 2024, an amendment comes into effect, according to which, in the case of driving by a person whose blood alcohol concentration is above 1.5‰ or 0.75 mg/dm³ in exhaled breath, or leads to the concentration exceeding such values, the court shall declare the confiscation of the motor vehicle involved in the incident. In particular cases, confiscation of property may be applied even if the concentration of alcohol in the blood of the incident perpetrator was or led to the concentration above 1.0‰, and in exhaled breath – to the concentration above 0.5 mg/dm³ [2].

Analyzing the statistics of recent years, there is a positive trend in Poland related to the decrease in the number of road accidents involving people under the influence of alcohol. In 2022, intoxicated road users (drivers, pedestrians, passengers) were involved in 2,248 road accidents, accounting for 10.5% of the total number of accidents. The death toll in these incidents was 268 (14.1% of the overall fatalities), and 2,567 people were injured (10.4% of all injured). Compared to the previous year, this is a 9.6% decrease in accidents, and analyzing statistics from about 10 years ago, a decrease of almost 50% is observed. The most numerous group of accident perpetrators in 2022 were vehicle drivers. Accidents were mainly caused by failure to adjust speed to traffic conditions, failure to yield priority and failure to keep a safe distance. The most frequently detected perpetrators were those violating the provisions of Article 178a §1 of the Criminal Code. As for the number of sobriety checks, it was almost 12.5 million in 2022. It increased compared to 2021, by more than 4 million. On the other hand, analyzing the situation between 2015 and 2022, a drastic decrease in traffic inspections of more than 50% was observed in 2020, which is gradually increasing. However, it should be noted that this was due to the coronavirus pandemic.

Although legal definitions make it clear when we are dealing with "state of insobriety" or "state after the use of alcohol", in practice, some problems may arise during sobriety checks (Figure 1). They mainly concern issues of interpretation of the results of exhaled breath or blood tests, in which the designated concentration was close to the legal limit (concentrations of 0.2‰ and 0.5‰ in blood and 0.1 mg/dm³ and 0.25 mg/dm³ in exhaled breath, respectively).

Natomiast prowadzenie pojazdu w stanie nietrzeźwości zakwalifikowane jest jako przestępstwo. W dniu 1 października 2023 roku, zgodnie z nowelizacją kodeksu karnego, kara za popełnienie tego czynu wzrosła z 2 do 3 lat pozbawienia wolności. Zmiany legislacyjne dotyczyły również umieszczenia dodatkowego zapisu w art. 178 §1 kk uwzględniającego spożycie alkoholu po zdarzeniu. W określonych przypadkach, czyn ten jest zagrożony karą: „pozbawienia wolności przewidzianą za przypisane sprawcy przestępstwo w wysokości od dolnej granicy ustawowego zagrożenia zwiększonego o połowę do górnej granicy tego zagrożenia zwiększonego o połowę”. Należy również wspomnieć, że od dnia 14 marca 2024 roku wchodzi w życie zmiana, zgodnie z którą w przypadku prowadzenia pojazdu przez osobę, u której stężenie alkoholu we krwi wynosi powyżej 1,5‰ lub 0,75 mg/dm³ w wydychanym powietrzu albo prowadzi do stężenia przekraczającego takie wartości, sąd orzeka przepadek pojazdu mechanicznego biorącego udział w zdarzeniu. W szczególnych przypadkach przepadek mienia może być zastosowany nawet w sytuacji, gdy stężenie alkoholu we krwi sprawcy zdarzenia wynosiło lub prowadziło do stężenia powyżej 1,0‰, a w powietrzu wydychanym – do stężenia powyżej 0,5 mg/dm³ [2].

Analizując statystyki z ostatnich lat, w Polsce obserwuje się pozytywny trend związany ze spadkiem liczby wypadków drogowych z udziałem osób pod wpływem alkoholu. W 2022 roku nietrzeźwi użytkownicy dróg (kierujący, piesi, pasażerowie) uczestniczyli w 2248 wypadkach drogowych, co stanowi 10,5% ogółu wypadków. Śmierć w nich poniosło 268 osób (14,1% ogółu zabitych), a 2567 osób odniosło obrażenia (10,4% ogółu rannych). W porównaniu z rokiem ubiegłym jest to mniej wypadków o 9,6%, a analizując statystyki sprzed około 10 lat obserwuje się spadek liczby wypadków o prawie 50%. Najliczniejszą grupę sprawców wypadków stanowili w 2022 roku kierujący pojazdami. Wypadki były spowodowane głównie niedostosowaniem prędkości do warunków ruchu, nieustąpieniem pierwszeństwa przejazdu oraz niezachowaniem bezpiecznej odległości. Najczęściej ujawniani byli sprawcy naruszający przepisy art. 178a §1 kk. Jeśli chodzi o liczbę kontroli trzeźwości to w 2022 roku wyniosła ona prawie 12,5 miliona. Wzrosła ona w porównaniu z rokiem 2021, o ponad 4 miliony. Natomiast analizując sytuację w latach 2015-2022 w 2020 roku zaobserwowano drastyczny spadek kontroli drogowych o ponad 50%, który stopniowo wzrasta. Należy jednak zaznaczyć, że był on spowodowany pandemią koronawirusa.

Choć prawne definicje jasno określają, kiedy mamy do czynienia ze „stanem nietrzeźwości” lub „stanem po użyciu alkoholu”, w praktyce mogą pojawić się pewne problemy podczas kontroli stanu trzeźwości (rycina 1). Dotyczą one przede wszystkim kwestii interpretacyjnych wyników badania powietrza wydychanego lub krwi, w których wyznaczone stężenie było bliskie prawnej granicy (stężenie 0,2‰ i 0,5‰ we krwi oraz odpowiednio: 0,1 mg/dm³ oraz 0,25 mg/dm³ w powietrzu wydychanym).

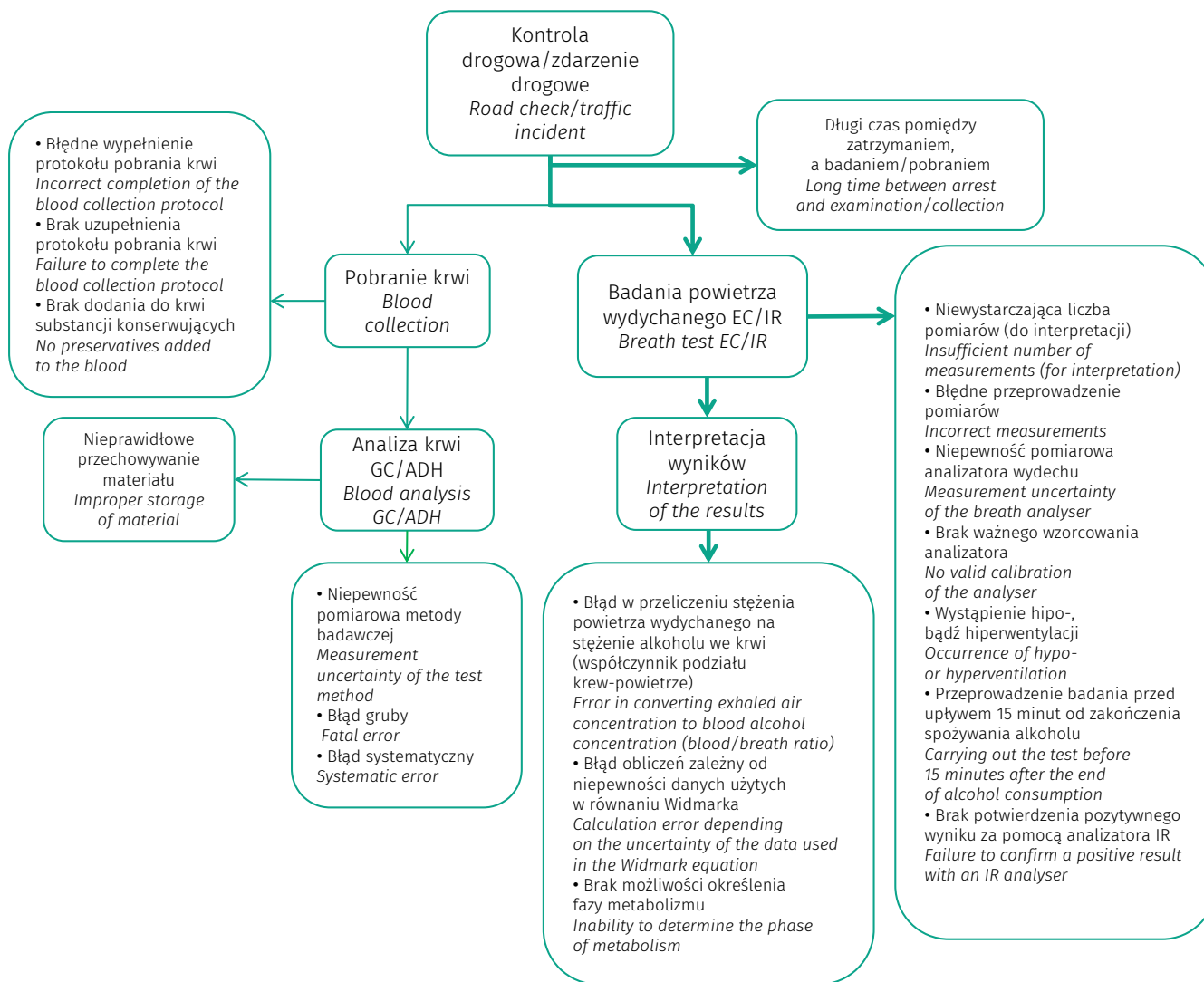


Figure 1. Diagnostic and interpretation problems related to the examination of breath and testing of blood samples for the presence of ethyl alcohol (the thicker line symbolizes the most common diagnostic direction)

abbreviations: EC - analyzer operating on the principle of electrochemical oxidation, IR - analyzer using the infrared spectrometry method, GC - gas chromatography with flame ionization detector, ADH - enzymatic method using alcohol dehydrogenase

Rycina 1. Problemy diagnostyczne i interpretacyjne związane z badaniem powietrza wydychanego i badaniem próbek krwi w kierunku obecności alkoholu etylowego (grubsza linia symbolizuje najczęstszy kierunek diagnostyczny)

skrótów: EC - analizator działający na zasadzie utleniania elektrochemicznego, IR - analizator wykorzystujący metodę spektrometrii w podczerwieni, GC - metoda chromatografii gazowej z detektorem płomieniowo-jonizacyjnym, ADH - metoda enzymatyczna wykorzystująca dehydrogenazę alkoholową

2. Measurement uncertainty of breath analyzers (instrumental)

The metrological issue of measurement uncertainty is particularly relevant for breath alcohol concentration results close to the legal limit of sobriety and the state after the use of alcohol (0.1 mg/dm^3), and the limit of the state after the use of alcohol and the state of insobriety (0.25 mg/dm^3). Exhaled breath testing, according to the current Ordinance of the Minister of Health and the Minister of Internal Affairs and Administration of December 28, 2018 on testing for alcohol content in the body [4] is conducted first. A blood test, on the other hand, is performed only in certain cases, such as when the person being tested refuses to be subjected to an exhaled breath test or when the person's health does not permit such a test. Any breath alcohol determination measurement is subject to error due to technical limitations of the measuring device. The uncertainty arises from both systematic errors, which can be eliminated, and random errors from, for example, biological, analytical and pre-analytical sources. Figure 2 shows the main components affecting the uncertainty of breath analyzers. The biological component, i.e. sampling, depends, among other things, on the temperature, volume or expiration flow rate and has the largest contribution in the uncertainty budget (73%). Identifiability, i.e. linking the measurement result to reference materials (reference gases), accounts for 13% of the uncertainty in the measurement of exhaled breath. Identifiability, however, is affected by the uncertainty of the expiration simulators, which are influenced, among other things, by the uncertainty of the water/air partition coefficient, which accounts for 4% of the uncertainty in the measurement of exhaled breath. The analytical (instrumental) component associated with the measuring instrument, on the other hand, accounts for 10% of the uncertainty budget in question [5]. In a document prepared by the International Organization of Legal Metrology [6], there are requirements that breath analyzers should meet in order for their result to be reliable and able to provide evidence in proceedings. In terms of measurement uncertainty, the document defines the maximum permissible measurement error, as shown in Table I.

In Poland, breath analyzers are subjected to calibration every 6 months. Its purpose is to determine the correctness of the analyzers' readings, which is documented in the calibration certificate. Calibration is performed in accredited laboratories and involves determining alcohol concentrations in reference gases of known ethanol concentration. On this basis, among other things, the measurement uncertainty is determined, followed by the extended uncertainty for the coefficient of expansion of $k = 2$ and the probability value of 95%. It should be remembered that during calibration, the value of measurement uncertainty is determined under laboratory conditions for reference gases. Under real conditions, i.e. when analyzing the alcohol concentration in the exhaled breath of a detained person, the measurement error may be higher. A study con-

2. Niepewność pomiarowa analizatorów wydechu (instrumentalna)

Zagadnienie metrologiczne związane z niepewnością pomiarową ma szczególnie istotne znaczenie w przypadku wyników stężenia alkoholu w powietrzu wydychanym w pobliżu prawnej granicy stanu trzeźwości i stanu po użyciu alkoholu ($0,1 \text{ mg/dm}^3$) oraz granicy stanu po użyciu alkoholu i stanu nietrzeźwości ($0,25 \text{ mg/dm}^3$). Badanie wydychanego powietrza, zgodnie z obowiązującym Rozporządzeniem Ministra Zdrowia i Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 28 grudnia 2018 r. w sprawie badań na zawartość alkoholu w organizmie [4], przeprowadzane jest w pierwszej kolejności. Natomiast badanie krwi wykonywane jest tylko w niektórych przypadkach, np. w sytuacji, gdy osoba badana odmawia poddania się badaniu powietrza wydychanego lub gdy stan jej zdrowia nie pozwala na przeprowadzenie takiego badania. Każdy pomiar oznaczenia alkoholu w powietrzu wydychanym jest obarczony błędem wynikającym z ograniczeń technicznych urządzenia pomiarowego. Niepewność wynika zarówno z błędów systematycznych, które można wyeliminować, jak i z błędów losowych pochodzących np. ze źródeł biologicznych, analitycznych i przedanalitycznych. Rycina 2 przedstawia główne elementy wpływające na niepewność analizatorów wydechu. Składnik biologiczny, czyli próbkowanie zależy m.in. od temperatury, objętości czy natężenia przepływu wydechu i ma największy udział w budżecie niepewności (73%). Identyfikowalność, czyli powiązanie wyniku pomiaru z materiałami odniesienia (gazami wzorcowymi) stanowi 13% niepewności pomiaru powietrza wydychanego. Na identyfikowalność ma natomiast wpływ niepewność symulatorów wydechu, na które wpływa m.in. niepewność współczynnika podziału woda/powietrze, stanowiąca 4% niepewności pomiaru powietrza wydychanego. Składnik analityczny (instrumentalny) związany z przyrządem pomiarowym stanowi natomiast 10% omawianego budżetu niepewności [5]. W dokumencie przygotowanym przez International Organization of Legal Metrology [6] znajdują się wymagania, które powinny spełnić analizatory wydechu, aby ich wynik był rzetelny i mógł stanowić dowód w postępowaniu. W zakresie niepewności pomiarowej dokument ten definiuje maksymalny dopuszczalny błąd pomiaru, co przedstawia tabela I.

W Polsce analizatory powietrza są poddawane wzorcowaniu co 6 miesięcy. Jego celem jest określenie poprawności wskazań analizatorów, co jest udokumentowane w świadectwie wzorcowania. Wzorcowanie wykonuje się w laboratoriach akredytowanych i polega ono na określeniu stężeń alkoholu w gazach wzorcowych o znanym stężeniu etanolu. Na tej podstawie ustalana jest m.in. niepewność pomiarowa, a następnie niepewność rozszerzona dla współczynnika rozszerzenia $k=2$ i wartości prawdopodobieństwa 95%. Należy pamiętać, że podczas wzorcowania wartość niepewności pomiaru wyznaczana jest w warunkach laboratoryjnych dla gazów wzorcowych. W warunkach rzeczywistych, tzn. podczas analizy stężenia alkoholu w powietrzu wydychanym osoby zatrzymanej, błąd po-

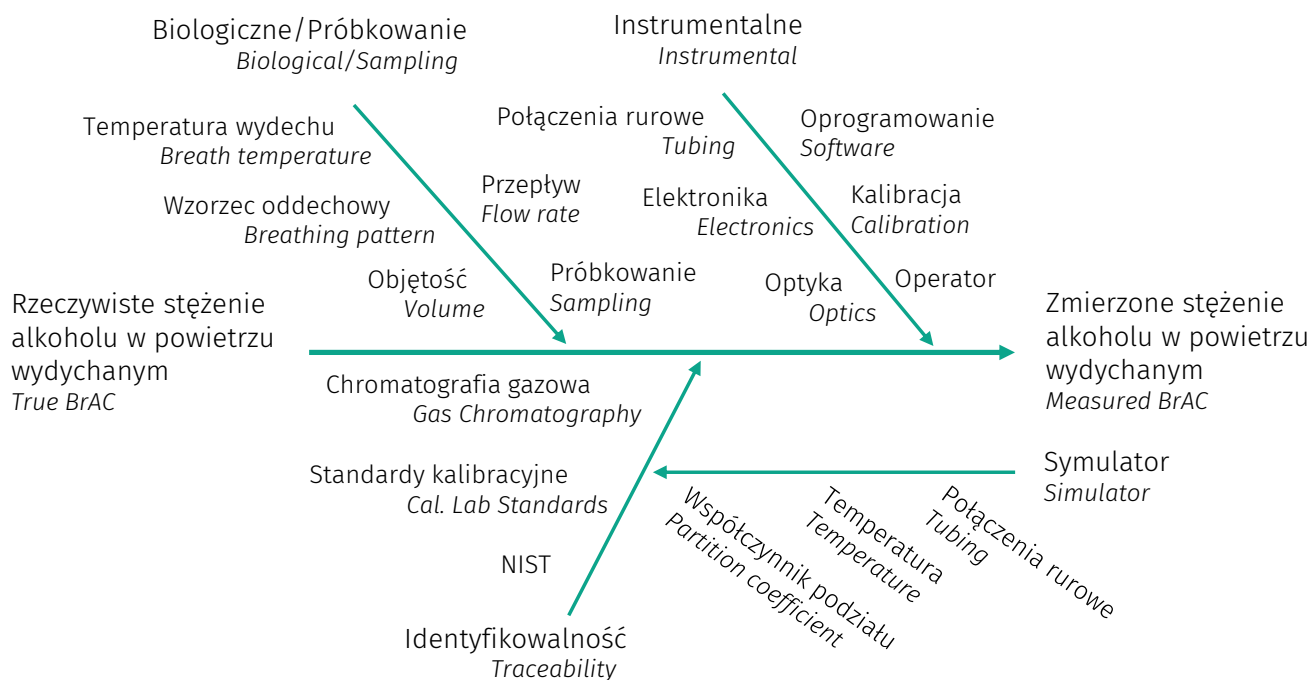


Figure 2. Main factors influencing the measurement uncertainty of breath analyzers [5]
Rycina 2. Główne czynniki wpływające na niepewność pomiarową analizatorów wydechu [5]

ducted at the Institute of Forensic Research in Kraków shows that the uncertainty of breath alcohol measurement conducted under real conditions is $\pm 0.03 \text{ mg/dm}^3$ (for concentrations up to 0.50 mg/dm^3) [7], which is consistent with the maximum permissible error for a routine test given in Table I.

miaru może być większy. Z badań przeprowadzonych w Instytucie Ekspertyz Sądowych w Krakowie wynika, że niepewność pomiaru zawartości alkoholu etylowego w powietrzu wydychanym przeprowadzonego w warunkach rzeczywistych wynosi $\pm 0,03 \text{ mg/dm}^3$ (dla stężeń do $0,50 \text{ mg/dm}^3$) [7], co jest zgodne z maksymalnym dopuszczalnym błędem dla badania rutynowego podanego w tabeli I.

Table I. Recommendations of the International Organization of Legal Metrology [6]
Tabela I. Rekomendacje International Organization of Legal Metrology [6]

Breath alcohol concentration (BrAC) Stężenie alkoholu w wydychanym powietrzu (BrAC)	Maximum allowable error for Maksymalny dopuszczalny błąd dla	
	preliminary examination (to demonstrate that the device is working properly) badania wstępnego (mającego na celu wykazanie, że urządzenie działa prawidłowo)	routine examination badania rutynowego
$< 2,00 \text{ mg/dm}^3$	$\pm 0,020 \text{ mg/dm}^3$ or 5% from the reference value $\pm 0,020 \text{ mg/dm}^3$ lub 5% z wartości referencyjnej	$\pm 0,030 \text{ mg/dm}^3$ or 7,5% from the reference value $\pm 0,030 \text{ mg/dm}^3$ lub 7,5% z wartości referencyjnej
$> 2,00 \text{ mg/dm}^3$	$\pm(0,50 \cdot c - 0,90) \text{ mg/dm}^3$ *	$\pm(0,75 \cdot c - 1,34) \text{ mg/dm}^3$ *

* c – breath alcohol concentration obtained in the test [mg/dm^3]

* c – uzyskane w badaniu stężenie alkoholu w powietrzu wydychanym [mg/dm^3]

An important issue of providing opinions in sobriety determination cases based on the results of breath tests is lingering (residual) alcohol. Lingering alcohol is alcohol that remains in the mucous membrane of the oral cavity and upper respiratory tract up to a maximum of about 15 minutes after the end of alcohol consumption. Based on many years of practice in didactic classes with fifth-year students of the Medical Faculty of the Medical University of Gdansk, during which volunteers applied a small portion of cocoa liquor (16% ethanol alcohol vol.) to the oral cavity three times, it follows that the result of alcohol content in exhaled breath using the Dräger Alcotest 7410 analyzer was positive for not more than 10 minutes (about 6 minutes on average). In the case of the presence of alcohol lingering in the mouth, the result of the measurement with a breath analyzer does not reflect the possible real alcohol content in the alveoli (if the person has consumed alcohol previously) or falsifies the result completely (if it was due solely to the previous application of, for example, ethanol-based mouth freshener). It seems reasonable, therefore, that in the case when between the first and second measurements made with an analyzer operating on the principle of electrochemical oxidation, a decrease in alcohol concentration greater than that which would result from the measurement uncertainty of breath analyzers (which is $\pm 0.03 \text{ mg/dm}^3$ for concentrations up to 0.50 mg/dm^3 , or $\pm 5\%$ of the value of the higher result for concentrations exceeding 0.50 mg/dm^3) is registered, another test with a device operating on the principle of infrared spectrometry, or the analysis of a blood sample should be performed for verification purposes [8]. Figure 3 shows the potential effect of lingering alcohol on the results of tests with breath analyzers operating on the principle of electrochemical oxidation of ethanol. It should be noted that the values of the concentrations of lingering alcohol vary greatly and, what is characteristic, very quickly move towards values close to zero (usually in about 6 min. after consumption). On the other hand, in the case of an intoxicated person, the first measurement will be falsified by the presence of lingering alcohol, then in the next measurement there will be a rapid decrease in the concentration of alcohol in the exhaled breath to a non-zero value, stable and representative of the concentration derived from the alveoli of the person tested.

When comparing exhaled breath test results with each other, the measurement uncertainty of exhaled breath analyzers and the process of alcohol metabolism should be taken into account to see if they were influenced by lingering alcohol.

It should be noted that in accordance with the current Ordinance of the Minister of Health and the Minister of Internal Affairs and Administration of December 28, 2018 on testing for alcohol content in the body [4]: "Breath analyzer test shall not be conducted until 15 minutes after the test subject has finished consuming alcohol, smoking tobacco products, including smoking innovative tobacco products, smoking electronic cigarettes or using smokeless tobacco products." The practical

Ważnym zagadnieniem opiniowania w sprawach dotyczących ustalenia stanu trzeźwości na podstawie wyników badań powietrza wydychanego jest alkohol zalegający (resztkowy). Alkohol zalegający jest to alkohol utrzymujący się w błonie śluzowej jamy ustnej i górnych dróg oddechowych maksymalnie do około 15 minut od zakończenia konsumpcji alkoholu. Na podstawie wieloletniej praktyki na zajęciach dydaktycznych ze studentami V roku Wydziału Lekarskiego Gdańskiego Uniwersytetu Medycznego, w trakcie których ochotnicy trzykrotnie aplikowali niewielką porcję likieru kakaowego (16% obj. etanolu) do jamy ustnej wynika, iż wynik zawartości alkoholu w powietrzu wydychanym za pomocą analizatora Alcotest 7410 firmy Dräger był dodatni przez okres nie dłuższy niż 10 min (średnio ok. 6 min). W przypadku występowania alkoholu zalegającego w jamie ustnej wynik pomiaru analizatorem wydechu nie odzwierciedla ewentualnej rzeczywistej zawartości alkoholu w pęcherzykach płucnych (jeśli osoba spożywała alkohol wcześniej) lub fałszuje całkowicie wynik (jeśli wynikało to wyłącznie z wcześniejszej aplikacji np. odświeżacza do ust na bazie alkoholu etylowego). Wydaje się zatem zasadne, aby w przypadku, gdy między pierwszym a drugim pomiarem wykonanym analizatorem działającym na zasadzie utleniania elektrochemicznego zarejestrowany będzie spadek stężenia alkoholu większy niż wynikałoby to z niepewności pomiaru analizatorami wydechu (wynoszącej $\pm 0,03 \text{ mg/dm}^3$ przy stężeniu do $0,50 \text{ mg/dm}^3$, lub $\pm 5\%$ wartości wyższego wyniku przy stężeniu przekraczającym $0,50 \text{ mg/dm}^3$) wykonać, w celu weryfikacji, kolejne badanie za pomocą urządzenia działającego na zasadzie spektrometrii w podczerwieni, względnie analizę próby krwi [8]. Na rycinie 3 przedstawiony został potencjalny wpływ alkoholu zalegającego na wyniki badań analizatorami wydechu działającymi na zasadzie elektrochemicznego utleniania etanolu. Należy zwrócić uwagę, iż wartości stężeń alkoholu zalegającego są bardzo zróżnicowane i co jest charakterystyczne – bardzo szybko zmierzają do wartości bliskich zero (najczęściej w ok. 6 min od chwili spożycia). W przypadku natomiast, gdy u osoby nietrzeźwej pierwszy pomiar zafałszowany będzie obecnością alkoholu zalegającego, to w kolejnym pomiarze nastąpi szybki spadek stężenia alkoholu w powietrzu wydychanym do wartości niezerowej, stabilnej i reprezentatywnej dla stężenia pochodzącego z pęcherzyków płucnych osoby badanej.

Porównując ze sobą wyniki badań powietrza wydychanego, w celu sprawdzenia, czy miał na nie wpływ alkohol zalegający należy wziąć pod uwagę niepewność pomiaru analizatorów wydechu oraz proces metabolizmu alkoholu.

Trzeba podkreślić, iż zgodnie z obowiązującym Rozporządzeniem Ministra Zdrowia i Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 28 grudnia 2018 r. w sprawie badań na zawartość alkoholu w organizmie [4]: „Badania analizatorem wydechu nie przeprowadza się przed upływem 15 minut od chwili zakończenia spożywania alkoholu, palenia wyrobów tytoniowych, w tym palenia nowatorskich wyrobów tytoniowych, palenia papierosów elektronicznych lub używania wyrobów tyto-

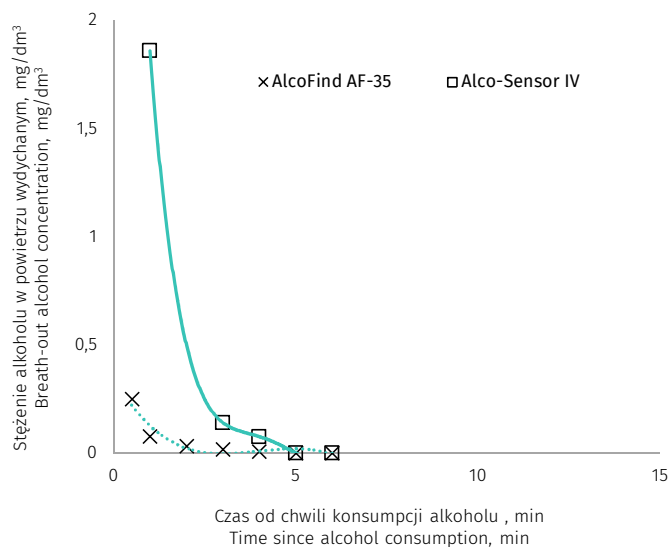


Figure 3. Example of the influence of residual alcohol on the results of tests using an exhalation analyzer operating on the principle of electrochemical oxidation of the type: Alco-Sensor IV (after twice using an alcohol-based mouth freshener) and AlcoFind AF-35 (after consuming three doses of 16% ethanol cocoa liqueur)

Rycina 3. Przykładowy wpływ alkoholu zalegającego na wyniki badań analizatorem wydechu działającym na zasadzie utleniania elektrochemicznego typu: Alco-Sensor IV (po dwukrotnym użyciu odświeżacza do ust na bazie alkoholu) oraz AlcoFind AF-35 (po spożyciu trzech dawek likieru kakaowego 16% obj. etanolu)

implementation of this recommendation is usually for police officers to wait 15 minutes before taking the breath analyzer test, or to interview the subject and make sure that the consumption of any alcoholic beverages or the use of tobacco products and electronic cigarettes has ended at least 15 minutes beforehand.

3. Uncertainty of prospective and retrospective calculations

Prospective (also known as predictive) and retrospective calculations are designed to determine the concentration of alcohol in the body at the time of incident and are used most often when the sobriety test was performed over a longer interval after the collision or accident occurred. The retrospective calculation is conducted based on the results of blood or exhaled breath tests, provided that the person tested eliminated alcohol during the tests or blood collection, and at the time of incident. Most often, the driver's testimony indicating alcohol consumption at least 1.5 hours before the incident lends credence to the elimination phase at the time of the incident. The second necessary condition that must be met in order to perform retrospective calculations is that there must be no alcohol consumption after the incident. In the case of drinking up or drinking after the incident, there may be an upward trend of concentrations in the measurement results (which lends credence to the version of drinking after the incident), but only if the time between drinking and breath testing is not too long (usually up to about 1.5 hours). In retrospective calculation, alcohol is assumed to be metabolized from the body at a constant rate. The alcohol concentration at the time of incident is calculated – under the above conditions – using the formula [9]:

niowych bezdymnych przez osobę badaną”. Praktyczną realizacją tego zalecenia jest zwykle odczekanie przez funkcjonariuszy Policji 15 minut przed przystąpieniem do badania analizatorem wydechu lub przeprowadzenie wywiadu z badanym i upewnienie się, iż konsumpcja jakichkolwiek napojów alkoholowych, czy użycie wyrobów tytoniowych i papierosów elektronicznych została zakończona co najmniej 15 minut wcześniej.

3. Niepewność obliczeń prospektywnych i retrospektywnych

Obliczenia prospektywne (zwane również prognostycznymi) i retrospektywne mają na celu określenie stężenia alkoholu w organizmie w chwili zdarzenia i wykorzystywane są najczęściej w przypadku, gdy badanie stanu trzeźwości zostało wykonane w dłuższym odstępie czasu po zaistnieniu kolizji lub wypadku. Rachunek retrospektywny przeprowadza się w oparciu o wyniki badań krwi lub powietrza wydychanego, pod warunkiem, że osoba badana eliminowała alkohol podczas badań lub pobrania krwi, a także w chwili zdarzenia. Najczęściej zeznania kierowcy, który wskazuje na konsumpcję alkoholu w czasie co najmniej 1,5 godziny przed zdarzeniem uwiarygadniają przebieg fazy eliminacji w czasie zdarzenia. Drugim koniecznym warunkiem, który musi być spełniony, aby można było wykonać obliczenia retrospektywne, to fakt, że nie może mieć miejsca konsumpcja alkoholu po zdarzeniu. W przypadku dopicia lub spożycia alkoholu po zdarzeniu może być widoczny trend wzrostowy stężeń w wynikach pomiarów (co uwiarygadnia wersję o spożyciu alkoholu po zdarzeniu), ale tylko wówczas, gdy czas pomiędzy spożyciem i badaniem powietrza wydychanego nie jest zbyt długi (najczęściej do ok. 1,5 godziny). W rachunku retrospektywnym przyjmuje się, że alkohol jest metabolizowany z organizmu ze stałą prędkością. Stężenie alkoholu w chwili zdarzenia oblicza się – przy zachowaniu powyższych warunków – korzystając ze wzoru [9]:

$$(a) \quad c_t = c_0 + (\beta_{60} \cdot t)$$

where:

c_t – alcohol concentration at the time of incident [%],
 c_0 – alcohol concentration detected in blood or exhaled breath [%],
 β_{60} – hourly elimination rate of alcohol from the body [%/h],
 t – time between the incident and the blood draw or breath test [h].

The prospective calculation, on the other hand, is conducted based on the subject's statements regarding the type and amount of alcohol consumed. It can be used to determine the concentration of alcohol at the time of incident in the subject, but is most often conducted to verify the stated scenario of alcohol consumption.

In the first step of the prospective calculation, the maximum blood alcohol concentration that a person of a certain body build could reach after consuming a given amount of alcohol is calculated. For this purpose, the equations derived by Widmark [9] are used:

$$(b) \quad c_{max} = \frac{A}{m \cdot r}$$

where:

c_{max} – maximum theoretical alcohol concentration [%],
 A – amount of alcohol consumed [g],
 m – body weight of the person consuming [kg],
 r – alcohol distribution coefficient [l/kg].

The amount of alcohol consumed can be calculated from the following formula:

$$(c) \quad A = \frac{V \cdot c_v \cdot d}{100}$$

where:

V – volume of alcoholic beverage consumed [ml],
 c_v – alcohol concentration by volume in the beverage (v/v) [%],
 d – ethanol density [g/ml].

Formula (b) can therefore be transformed to the form:

$$(d) \quad c_{max} = \frac{V \cdot c_v \cdot d}{100 \cdot m \cdot r}$$

In the second step of the prospective calculation, the alcohol concentration at the time of incident or measurements of exhaled breath or blood draw is calculated. To do this, the alcohol that would have been eliminated by a certain time (the incident or sobriety test) is subtracted from the maximum theoretical ethanol concentration calculated from the Widmark equation.

$$(a) \quad c_t = c_0 + (\beta_{60} \cdot t)$$

gdzie:

c_t – stężenie alkoholu w chwili zdarzenia [%],
 c_0 – stężenie alkoholu stwierdzone we krwi lub w powietrzu wydechanym [%],
 β_{60} – godzinowy współczynnik eliminacji alkoholu z organizmu [%/h],
 t – czas między zdarzeniem a pobraniem krwi lub badaniem powietrza wydechanego [h].

Rachunek prospektywny przeprowadza się z kolei w oparciu o deklaracje osoby badanej odnośnie rodzaju i ilości spożytego alkoholu. Może on służyć do ustalenia stężenia alkoholu w chwili zdarzenia u osoby badanej, ale najczęściej przeprowadza się go w celu weryfikacji podanego scenariusza konsumpcji alkoholu.

W pierwszym etapie rachunku prospektywnego wylicza się maksymalne stężenie alkoholu we krwi, jakie osoba o określonej budowie ciała mogła osiągnąć po spożyciu podanej ilości alkoholu. Do tego celu stosuje się wzory wyprowadzone przez Widmarka [9]:

$$(b) \quad c_{max} = \frac{A}{m \cdot r}$$

gdzie:

c_{max} – maksymalne teoretyczne stężenie alkoholu [%],
 A – ilość spożytego alkoholu [g],
 m – masa ciała osoby spożywającej [kg],
 r – współczynnik rozmieszczenia alkoholu [l/kg].

Ilość spożytego alkoholu można obliczyć z następującego wzoru:

$$(c) \quad A = \frac{V \cdot c_v \cdot d}{100}$$

gdzie:

V – objętość spożytego napoju alkoholowego [ml],
 c_v – stężenie objętościowe alkoholu w napoju (v/v) [%],
 d – gęstość etanolu [g/ml].

Wzór (b) można zatem przekształcić do postaci:

$$(d) \quad c_{max} = \frac{V \cdot c_v \cdot d}{100 \cdot m \cdot r}$$

W drugim etapie rachunku prospektywnego, wylicza się stężenie alkoholu na czas zdarzenia lub pomiarów powietrza wydechanego czy pobrania krwi. W tym celu od maksymalnego teoretycznego stężenia etanolu obliczonego na podstawie wzoru Widmarka, odejmuje się alkohol, który uległby eliminacji do określonego czasu (zdarzenia lub badania stanu trzeźwości).

$$(e) \quad c_x = c_{max} - (\beta_{60} \cdot t)$$

where:

c_x – alcohol concentration after a certain time [‰],
 c_{max} – maximum theoretical alcohol concentration [‰],
 β_{60} – elimination rate of alcohol from the body per hour [‰/h],
 t – time from the start of alcohol elimination (approximately time from the start of consumption) to the moment for which the alcohol concentration is calculated (incident or sobriety test) [h].

Comparing the alcohol concentrations calculated in this way using formula (e) with the actual results of exhaled breath or blood test makes it possible to verify the stated consumption scenario and to make a statement about whether the version given by the suspect is credible.

However, it is important to realize that the accuracy with which one can determine the alcohol concentration at the time of incident or make a statement about whether the version correlates with the results of sobriety tests depends on the uncertainty of the data used for Widmark's equations.

For retrospective calculations, the hourly elimination rate β_{60} and the time t elapsed between the incident and blood sampling or exhaled breath testing are crucial. What matters is the amount of alcohol metabolized from the body. The value of β_{60} depends primarily on the activity of alcohol dehydrogenase, involved in the oxidation of ethanol. The β_{60} coefficient was determined experimentally by various researchers, and its average value was: 0.15‰ per hour, in the range: 0.10–0.24‰ [9]; 0.13‰ per hour, in the range: 0.07–0.24‰ [10]; 0.14‰ per hour, in the range: 0.06–0.22‰ [11]; 0.20‰ per hour, in the range: 0.10–0.30‰ [12]. A 1996 study by A.W. Jones and Andersson involving 1,000 detained drivers who had two blood samples taken for testing one hour apart, found that the frequency distribution of calculated alcohol elimination rate values was well matched by a Gauss curve. The mean value of this coefficient along with the standard deviation (SD) was $0.19 \pm 0.05\%$ per hour, and 95% of the results were in the range of 0.09–0.29‰ per hour [13]. These results are confirmed by dozens of publications in this field. In addition, studies show that for alcoholics, the elimination rate β_{60} can be in the range of 0.25–0.35‰ per hour [14]. Therefore, it seems appropriate to assume in the retrospective calculation, for occasional drinkers, alcohol elimination rate in the range of 0.1–0.2‰ per hour. On the other hand, it is not advisable to use individual elimination coefficients, especially when sobriety tests are conducted at short intervals. The coefficient calculated in this way may erroneously suggest that more or less alcohol has been eliminated from the body than it actually was. Such a correlation was also observed in a study conducted at the Institute of Forensic Research involving volunteers consuming alcohol in amounts leading to a maximum theoretical blood alcohol concentration of about 1‰, who were subjected to exhaled breath

$$(e) \quad c_x = c_{max} - (\beta_{60} \cdot t)$$

gdzie:

c_x – stężenie alkoholu po określonym czasie [‰],
 c_{max} – maksymalne teoretyczne stężenie alkoholu [‰],
 β_{60} – godzinowy współczynnik eliminacji alkoholu z organizmu [‰/h],
 t – czas od rozpoczęcia procesu eliminacji alkoholu (w przybliżeniu czas od rozpoczęcia konsumpcji) do momentu, na który wyliczane jest stężenie alkoholu (zdarzenie lub badanie stanu trzeźwości) [h].

Porównanie obliczonych w taki sposób stężeń alkoholu za pomocą wzoru (e) z rzeczywistymi wynikami badania powietrza wydychanego czy krwi pozwala na weryfikację podanego scenariusza konsumpcji i wypowiedzenie się, czy wersja podana przez podejrzanego jest wiarygodna.

Należy zdawać sobie jednak sprawę z tego, że dokładność, z jaką można określić stężenie alkoholu w chwili zdarzenia lub wypowiedzieć się czy wersja koreluje z wynikami badań stanu trzeźwości, zależy od niepewności danych użytych do wzorów Widmarka.

W przypadku obliczeń retrospektywnych kluczowe znaczenie ma godzinowy współczynnik eliminacji β_{60} oraz czas t , jaki upłynął między zdarzeniem a pobraniem próbki krwi lub badaniem wydychanego powietrza. Istotna jest bowiem ilość metabolizowanego alkoholu z ustroju. Wartość współczynnika β_{60} zależy przede wszystkim od aktywności dehydrogenazy alkoholowej, biorącej udział w utlenianiu etanolu. Współczynnik β_{60} został wyznaczony eksperymentalnie przez różnych badaczy, a jego średnia wartość wyniosła: 0,15‰ na godzinę, w zakresie: 0,10–0,24‰ [9]; 0,13‰ na godzinę, w zakresie: 0,07–0,24‰ [10]; 0,14‰ na godzinę, w zakresie: 0,06–0,22‰ [11]; 0,20‰ na godzinę, w zakresie: 0,10–0,30‰ [12]. Z badań prowadzonych przez A.W. Jones i Anderssona w 1996 roku z udziałem 1000 zatrzymanych kierowców, którym pobierane były do badań dwie próbki krwi w odstępie godzinowym, wynika, że rozkład częstotliwości obliczonych wartości współczynnika eliminacji alkoholu był dobrze dopasowany do krzywej Gaussa. Wartość średnia tego współczynnika wraz z odchyleniem standardowym (SD) wynosiła $0,19 \pm 0,05\%$ na godzinę, a 95% wyników mieściło się w zakresie 0,09–0,29‰ na godzinę [13]. Wyniki te potwierdzają dziesiątki publikacji z tego zakresu. Ponadto z badań wynika, że w przypadku alkoholików współczynnik eliminacji β_{60} może mieścić się w zakresie 0,25–0,35‰ na godzinę [14]. Wydaje się zatem właściwym przyjmowanie w rachunku retrospektywnym, dla osób sporadycznie spożywających alkohol, zakresu współczynnika eliminacji alkoholu w przedziale 0,1–0,2‰ na godzinę. Nie jest natomiast wskazane stosowanie indywidualnych współczynników eliminacji, szczególnie w sytuacji, kiedy przeprowadzone są badania stanu trzeźwości w krótkich odstępach czasu. Obliczony w taki sposób współczynnik może mylnie sugerować, że z organizmu uległo eliminacji więcej lub mniej alkoholu niż w rzeczywistości. Zależność

tests at 5-minute intervals [15]. Calculated hourly coefficients based on measurements taken every 10 to 15 minutes indicated a different elimination rate from that actually observed at the one-hour interval.

The second parameter that affects the accuracy of determining the alcohol concentration at the time of incident is the time elapsed between the incident and the test. Assuming that 0.1 to 0.2‰ of alcohol is eliminated from the body during an hour, it is easy to deduce that if the time period between the incident and the breath test or blood draw is increased, the range of the calculated concentration automatically expands. For example, if we make a retrospective calculation and the incident took place at 12:00 p.m., and the alcohol concentration in the blood taken at 1:00 p.m. was 1.0‰, we would calculate that at 12:00 p.m. the alcohol content was between 1.1 and 1.2‰. On the other hand, if the incident took place at 07:00 (that is, 6 hours before the blood sample was taken), we calculate that the alcohol content must have been between 1.6 and 2.2‰ during the incident. Thus, we see that in the case of a long interval between the incident and the test, the alcohol content is determined less accurately, through a range of concentration values. Nevertheless, very often this range of alcohol concentration allows for a legal interpretation of the state in which the suspect was, i.e. whether they were in a state of insobriety at the time of incident, and this fact is a key issue in the case.

The uncertainty of the result of the retrospective calculation is also affected by the error of determining the concentration of alcohol in exhaled breath – using a breath analyzer, or in blood – using gas chromatography with flame ionization detection (GC-FID) or a spectrophotometric method (enzymatic ADH). However, this uncertainty contributes much less to the retrospective calculation's uncertainty budget than other parameters, such as the hourly elimination rate β_{60} and the time elapsed between the test and the incident t .

Figure 4 summarizes the main components affecting the uncertainty of the retrospective calculation.

For prospective calculations, the number of parameters affecting the uncertainty of determining the alcohol concentration at the time of incident is even greater than for the retrospective calculation. The main components of the uncertainty budget for prospective calculations are shown in Figure 5.

The first thing to consider is the effect of individual parameters on the error of determining the maximum theoretical alcohol concentration – formula (d). Of key importance here is the amount of alcohol introduced into the body. It is important to realize that the data on the volume of ingested beverage and its type are derived from statements or explanations of the suspect. It is not uncommon to encounter a situation where there are several different versions of alcohol con-

taka była obserwowana również w badaniach prowadzonych w Instytucie Ekspertyz Sądowych z udziałem chętnych spożywających alkohol w ilości prowadzącej do maksymalnego teoretycznego stężenia alkoholu we krwi na poziomie około 1‰, którzy poddawani byli badaniom wydychanego powietrza w odstępach 5-minutowych [15]. Obliczone godzinowe współczynniki na podstawie pomiarów przeprowadzonych co 10–15 minut wskazywały na inną szybkość eliminacji niż obserwowana w rzeczywistości w odstępie jednogodzinnym.

Drugi parametr, który wpływa na dokładność wyznaczenia stężenia alkoholu w chwili zdarzenia to czas między zdarzeniem a badaniem. Przyjmując, że w trakcie godziny z organizmu ulega eliminacji od 0,1 do 0,2‰ alkoholu, łatwo można wydedukować, że w przypadku wydłużania okresu czasu między zdarzeniem a badaniem powietrza wydychanego lub pobraniem krwi, rozszerza się automatycznie zakres obliczonego stężenia. Przykładowo, jeśli wykonujemy rachunek retrospektywny i zdarzenie miało miejsce o godz. 12.00, a stężenie alkoholu we krwi pobranej o godz. 13.00 wynosiło 1,0‰, to obliczymy, że o godz. 12.00 zawartość alkoholu mieściła się w przedziale 1,1–1,2‰. Natomiast, gdyby zdarzenie miało miejsce o godz. 7.00 (czyli 6 godzin przed pobraniem próby krwi), to obliczymy, że w trakcie zdarzenia zawartość alkoholu musiała mieścić się w przedziale 1,6–2,2‰. Widzimy zatem, że w przypadku długiego odstępu czasu między zdarzeniem a badaniem, zawartość alkoholu jest określona mniej dokładnie, poprzez przedział wartości stężeń. Niemniej jednak bardzo często taki przedział stężenia alkoholu pozwala na interpretację prawną stanu, w jakim znajdował się podejrzany, tj. czy w trakcie zdarzenia był w stanie nietrzeźwości, a fakt ten jest kluczową kwestią w sprawie.

Na niepewność wyniku obliczeń retrospektywnych ma również wpływ błąd wyznaczenia stężenia alkoholu w powietrzu wydychanym – za pomocą analizatora wydechu, czy we krwi – przy zastosowaniu chromatografii gazowej z detekcją płomieniowo-jonizacyjną (GC-FID) lub metody spektrofotometrycznej (enzymatycznej ADH). Niepewność ta stanowi jednak znacznie mniejszy wkład do budżetu niepewności rachunku retrospektywnego niż pozostałe parametry, takie jak godzinowy współczynnik eliminacji β_{60} oraz czas między badaniem a zdarzeniem t .

Rycina 4 podsumowuje główne elementy wpływające na niepewność rachunku retrospektywnego.

W przypadku obliczeń prospektywnych, liczba parametrów wpływających na niepewność wyznaczenia stężenia alkoholu w chwili zdarzenia jest jeszcze większa niż dla rachunku retrospektywnego. Główne składowe budżetu niepewności dla obliczeń prospektywnych zostały przedstawione na rycinie 5.

W pierwszej kolejności należy rozważyć wpływ poszczególnych parametrów na błąd wyznaczenia maksymalnego teoretycznego stężenia alkoholu – wzór (d). Kluczowe znaczenie ma tutaj

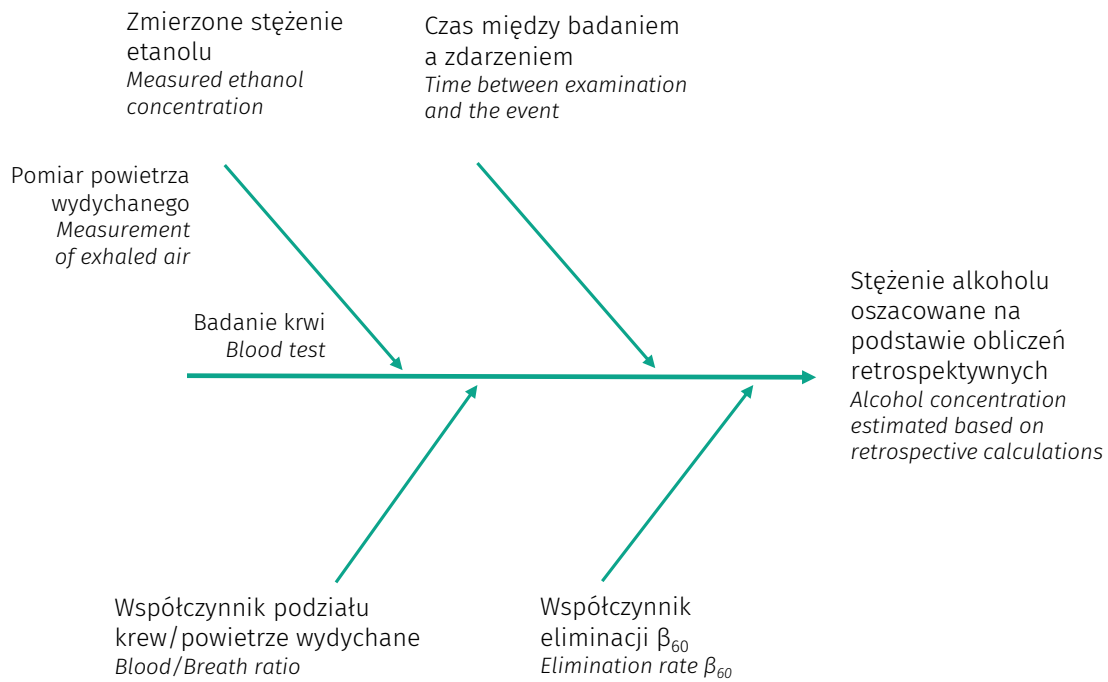


Figure 4. Main factors influencing the measurement uncertainty of retrograde calculation
Rycina 4. Główne czynniki wpływające na niepewność rachunku retrospektywnego

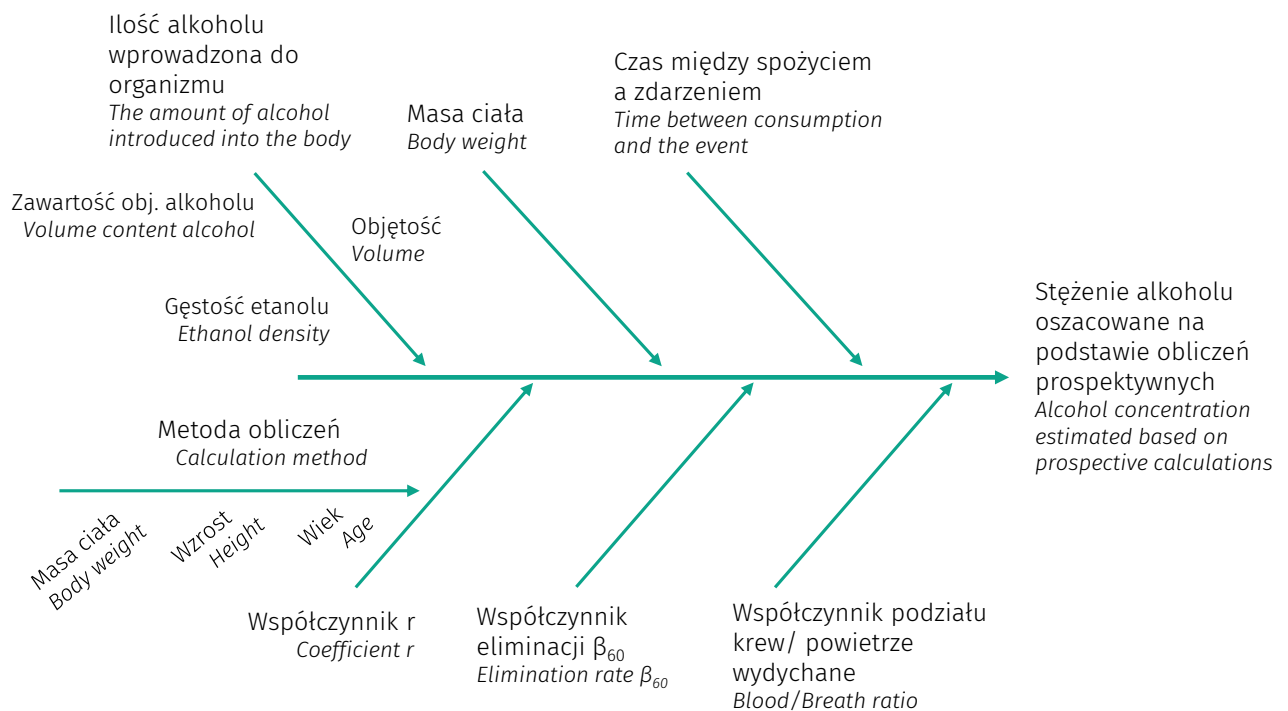


Figure 5. Main factors influencing the measurement uncertainty of prospective estimation
Rycina 5. Główne czynniki wpływające na niepewność obliczeń prospektywnych

sumption in a given case, which change during the course of the investigation (most often, subsequent versions of alcohol consumption – given by the suspect at a distant time from the incident – are unreliable due to the desire to match the results of calculations with ethanol concentrations obtained during measurements). Leaving aside questions of the reliability of such declarations, however, it is important with what accuracy the suspect states the volume of alcohol consumed. As long as beer from a bottle or can is consumed, for example, it is fairly easy to determine the volume of alcohol consumed. On the other hand, if drinks with vodka, for example, are consumed, it is already much more difficult to accurately determine the volume of alcohol consumed. The conclusions drawn by the expert regarding the verification of the stated consumption scenario should therefore take into account the uncertainty of the estimated volume of alcohol consumed.

As for the alcohol concentration by volume of the beverage, it is indicated on the product label. For spirits such as vodka, rum and whiskey, for example, which are standardized, a very narrow range of alcohol concentration is specified, so the uncertainty of the ethanol content taken into account is small, of the order of up to about 1% vol. However, in the case of wine products and beers, these beverages are non-standardized and standards usually specify the maximum alcohol concentration a beverage can contain. Studies show, nevertheless, that the actual alcohol concentration of low-level alcohol beverages is close to the maximum concentration declared on the label by the manufacturer, and if lower, the deviation from the declared values does not exceed 10%. Thus, bearing in mind that the ethanol content of beers usually fluctuates in the range of 5–6% by volume, a deviation of 10% from such a concentration, is small. Another problem, however, may be the suspect's failure to indicate the brand of beer consumed. If the expert assumes the ethanol content of beer at 5–6% vol. and the suspect nevertheless drank strong beer (about 7–8% ethanol by volume) or a "radler" type beer (with an alcohol concentration of about 3% vol.), the results of the calculations may differ from the actual values by several tens of percent. The suspect's indication of consumption of so-called "home-made" alcoholic beverages is also a troublesome issue. Accurate indication of the ethanol concentration in such a beverage is then very difficult, so the expert must usually assume a range of ethanol content in the drink consumed. Such an approach significantly affects the uncertainty of determining the concentration of alcohol in the body.

It seems that the most accurate of the components in formula (d) is the body weight of the subject. On the other hand, it happens that the suspected person changes their weight during the course of the investigation, nevertheless, in the vast majority of cases, the error in estimating the weight of the suspect is no more than 1–2 kg [16].

ilość alkoholu wprowadzona do organizmu. Należy zdawać sobie sprawę, że dane dotyczące objętości spożytego trunku oraz jego rodzaj wynikają z oświadczeń czy wyjaśnień osoby podejrzanej. Nie rzadko można spotkać się z sytuacją, że w danej sprawie jest kilka różnych wersji konsumpcji alkoholu, które zmieniają się w toku prowadzonego postępowania (najczęściej kolejne wersje konsumpcji alkoholu – podawane przez podejrzanego w odległym czasie od zdarzenia – są mało wiarygodne ze względu na chęć dopasowania wyników obliczeń do stężeń etanolu uzyskanych podczas pomiarów). Pozostawiając jednak kwestie wiarygodności takich deklaracji, istotne jest z jaką dokładnością podejrzany podaje objętość spożytego alkoholu. O ile konsumowane jest np. piwo z butelki czy puszki, to w miarę łatwo można określić objętość spożytego trunku. Natomiast, jeśli spożywane są np. drinki z wódką, dokładne określenie objętości spożytego alkoholu jest już zdecydowanie trudniejsze. Wyciągane przez biegłego wnioski odnośnie weryfikacji podanego scenariusza konsumpcji powinny zatem uwzględniać niepewność szacowanej objętości spożytego alkoholu.

Jeśli chodzi o stężenie objętościowe alkoholu w napoju, podawane jest ono na etykiecie produktu. Dla napojów spirytusowych, takich jak np. wódka, rum czy whisky, które są standaryzowane określony został bardzo wąski zakres stężenia alkoholu, a zatem niepewność branej pod uwagę zawartości etanolu jest niewielka, rzędu do około 1% obj. Natomiast w przypadku wyrobów winiarskich i piw, napoje te są niestandardyzowane i normy określają zazwyczaj maksymalne stężenie alkoholu, jakie dany napój może zawierać. Badania wskazują jednak, że rzeczywiste stężenie alkoholu w napojach niskoprocentowych są zbliżone do stężenia maksymalnego, deklarowanego na etykiecie przez producenta, a jeżeli są niższe, to odchylenia od wartości deklarowanych nie przekraczają 10%. Mając zatem na uwadze, że zawartość etanolu w piwach waha się najczęściej w zakresie 5–6% obj., odchylenie na poziomie 10% od takiego stężenia, jest niewielkie. Innym problemem może być natomiast niewskazanie przez podejrzanego marki spożytego piwa. Jeżeli biegły przyjmie zawartość etanolu w piwie na poziomie 5–6% obj., a podejrzany pił jednak piwo mocne (około 7–8% obj. etanolu) lub piwo typu „radler” (o stężeniu alkoholu około 3% obj.), to wyniki obliczeń mogą różnić się od wartości rzeczywistych o kilkadziesiąt procent. Kłopotliwą kwestią jest również wskazanie przez podejrzanego konsumpcji napojów alkoholowych tzw. „domowej roboty”. Dokładne wskazanie stężenia etanolu w takim trunku jest wtedy bardzo trudne, więc biegły musi zazwyczaj przyjąć zakres zawartości etanolu w spożytym napoju. Podejście takie wpływa znacząco na niepewność wyznaczenia stężenia alkoholu w organizmie.

Wydaje się, że najdokładniej ze składników we wzorze (d) można określić masę ciała osoby badanej. Zdarza się natomiast, że podejrzany zmienia swoją masę w trakcie trwania prowadzonego postępowania, niemniej jednak w zdecydowanej większości przypadków błąd oszacowania masy ciała osoby podejrzanej nie jest większy niż 1–2 kg [16].

The value of the coefficient r , which determines the ratio of the concentration of alcohol in the whole body to the concentration of alcohol in the blood, is usually most questionable. Some experts still use r -values rounded to the first decimal place derived from Widmark's experiments, i.e. a value of 0.7 for men, 0.6 for women (the rounding of the values of the coefficients before obtaining the final result itself is also subject to uncertainty). It seems, however, that these coefficients are adequate for people of average body build, while for overweight or underweight persons they may deviate significantly from the actual values. Therefore, more reliable methods of calculating the coefficient r take into account the sex, body weight and height of the subject, and sometimes age. The most popular methods include Forrest's method [17]; Watson's [18]; Seidel, Jensen and Alt's [19]; and Ulrich, Cramer and Zink's [20]. From studies conducted by Posey and Mozayani [21], it appears that the use of Widmark's alcohol distribution factor, averaged over a small population of subjects, compared to coefficients determined by other researchers (based on data on the varying height and weight of alcohol drinkers) may contribute to an overestimation of the calculated maximum theoretical alcohol concentration.

In the case of prospective calculations, in addition to the parameters cited above that affect the uncertainty of determining the maximum theoretical alcohol concentration, it is also necessary to consider the factors that affect the error of determining the alcohol content at a specific time, either at the time of incident or during the sobriety test. Here, as with the retrospective calculation, the uncertainty of the calculation is affected by the hourly elimination rate β_{60} and the time t that elapsed between consumption and the incident or between consumption and blood sampling or exhaled breath testing. The longer the elapsed time between these steps, the wider the range of calculated concentrations will automatically be (assuming an elimination rate of β_{60} in the range of 0.1 to 0.2‰ per hour).

In practice, the uncertainty of determining the alcohol concentration by means of retrospective or prospective calculation can be estimated using the error propagation method, given that the ethanol concentration in the body is a function of several independent variables:

$C = f(c_0, \beta_{60}, t)$ for retrospective calculations;

$C = f(V, c_v, m, r, \beta_{60}, t)$ for prospective calculations.

Based on the work of other authors on the subject of uncertainty determination [22], [23], [24], examples of estimating the error of ethanol concentration determination are presented below in Table II.

Najwięcej wątpliwości wzbudza zazwyczaj wartość współczynnika r , który określa stosunek stężenia alkoholu w całym organizmie do stężenia alkoholu we krwi. Niektórzy biegli stosują nadal zaokrąglone do pierwszego miejsca po przecinku wartości współczynnika r uzyskane na podstawie doświadczeń Widmarka, tj. dla mężczyzn wartość 0,7, dla kobiet – 0,6 (samo zaokrąglenie wartości współczynników przed uzyskaniem końcowego wyniku też jest obciążone niepewnością). Wydaje się jednak, że współczynniki te są adekwatne dla osób o przeciętnej budowie ciała, natomiast dla osób z nadwagą lub niedowagą mogą odbiegać znacząco od rzeczywistych wartości. Dlatego też bardziej wiarygodne metody obliczeń współczynnika r uwzględniają płeć, masę ciała oraz wzrost osoby badanej, a czasami także wiek. Najpopularniejsze metody obejmują: metodę Forresta [17]; Watsona [18]; Seidla, Jensena i Alta [19] oraz Ulricha, Cramera i Zinka [20]. Z badań przeprowadzonych przez Poseya i Mozayani [21] wynika, że stosowanie uśrednionego dla niewielkiej populacji badanych współczynnika rozmieszczenia alkoholu wyznaczonego przez Widmarka w porównaniu ze współczynnikami wyznaczonymi przez innych naukowców (opierających się na danych dotyczących zróżnicowanego wzrostu i masy ciała osób spożywających alkohol) może przyczynić się do zawyżenia obliczanego maksymalnego teoretycznego stężenia alkoholu.

W przypadku obliczeń prospektywnych, poza przytoczonymi powyżej parametrami wpływającymi na niepewność wyznaczenia maksymalnego teoretycznego stężenia alkoholu w organizmie, należy rozważyć również czynniki wpływające na błąd określenia zawartości alkoholu w konkretnym czasie, tj. w momencie zdarzenia albo w trakcie badania stanu trzeźwości. Tutaj podobnie jak w przypadku rachunku retrospektywnego, wpływ na niepewność obliczeń ma godzinowy współczynnik eliminacji β_{60} oraz czas t , jaki upłynął między konsumpcją a zdarzeniem albo między konsumpcją a pobraniem próbki krwi lub badaniem wydychanego powietrza. Im dłuższy upłynie czas między tymi czynnościami, tym zakres obliczonego stężenia będzie automatycznie szerszy (przy przyjęciu szybkości eliminacji β_{60} w zakresie od 0,1 do 0,2‰ na godzinę).

W praktyce niepewność wyznaczenia stężenia alkoholu w rachunku retrospektywnym lub prospektywnym można oszacować metodą propagacji błędów, biorąc pod uwagę, że stężenie etanolu w organizmie jest funkcją kilku niezależnych zmiennych:

$C = f(c_0, \beta_{60}, t)$ dla obliczeń retrospektywnych;

$C = f(V, c_v, m, r, \beta_{60}, t)$ dla obliczeń prospektywnych.

Bazując na pracach innych autorów zajmujących się tematyką wyznaczania niepewności [22], [23], [24] przedstawiono poniżej w tabeli II przykłady szacowania błędów określenia stężenia etanolu.

Table II. Examples of estimating the uncertainty of alcohol concentration determined in a prospective calculations
Tabela II. Przykłady szacowania niepewności wyznaczenia stężenia alkoholu w rachunku prospektywnym

Parameter Parametr	Example 1 Przykład 1	Example 2 Przykład 2	Example 3 Przykład 3	Example 4 Przykład 4
Objętość spożytego napoju alkoholowego – V Volume of consumed alcoholic beverage – V	300 ±10 ml	300 ±30 ml	300 ±10 ml	300 ±30 ml
Stężenie procentowe etanolu w napoju alkoholowym – c_v Alcohol concentration in the beverage – c_v	40 ±0,5% obj.	40 ±0,5% obj.	40 ±0,5% obj.	40 ±0,5% obj.
Masa ciała osoby spożywającej – m Body weight of person consuming – m	80 ±2 kg	80 ±2 kg	80 ±5 kg	80 ±5 kg
Współczynnik rozmieszczenia alkoholu – r Alcohol distribution coefficients – r	0,72 ±0,02 l/kg	0,72 ±0,02 l/kg	0,72 ±0,02 l/kg	0,72 ±0,02 l/kg
Maksymalne teoretyczne stężenie alkoholu – c_{max} Maximum theoretical alcohol concentration – c_{max}	1,64‰	1,64‰	1,64‰	1,64‰
Oszacowana niepewność dla maksymalnego teoretycznego stężenia alkoholu Estimated uncertainty for maximum theoretical alcohol concentration	±0,13‰	±0,21‰	±0,16‰	±0,23‰
Godzinowy współczynnik eliminacji alkoholu z organizmu – β_{60} Hourly elimination rate of alcohol from the body – β_{60}	0,15 ±0,05‰/h	0,15 ±0,05‰/h	0,15 ±0,05‰/h	0,15 ±0,05‰/h
Czas od konsumpcji do momentu, na który wyliczane jest stężenie alkoholu – t Time from consumption to the point at which alcohol concentration is calculated – t	60 ±10 min	60 ±20 min	120 ±10 min	120 ±20 min
Teoretyczne stężenie alkoholu po czasie t – c_x Theoretical alcohol concentration after time t – c_x	1,49‰	1,49‰	1,34‰	1,34‰
Oszacowana niepewność dla stężenia alkoholu w danym czasie Estimated uncertainty for alcohol concentration at a given time	±0,15‰	±0,22‰	±0,19‰	±0,25‰

4. Uncertainty associated with conversion and interpretation of results

The definitions of “state after use” and “state of insobriety” refer to the content of ethyl alcohol in blood in per mille (‰) and in exhaled breath in mg/dm³ (mg/l). Therefore, when interpreting the obtained results of the sobriety tests, it is not necessary to convert the alcohol concentration in the exhaled breath into the ethanol content in the blood, nor vice versa. Whereas, when a prospective calculation is performed and the sobriety test is based on an analysis of exhaled breath, such a conversion is necessary because it is required to compare the calculated alcohol concentration, which is then expressed in per mille (‰), with the results of sobriety tests determined in mg/dm³ (mg/l). In Poland, for judicial purposes, a distribution ratio between blood and breath ethanol concentrations of 2100:1 is used, so that the result of the breath ethanol concentration expressed in mg/dm³ is multiplied by 2.1 to obtain the blood ethanol concentration in per mille. The range of the distribution coefficient of ethanol blood/exhaled breath is from 1800:1 at 37°C to 2586:1 at 34°C [25]. This is an experimentally determined coefficient that shows intra- and inter-individual variability. Converting the result of an exhaled breath test to blood alcohol content for the measurement obtained may

4. Niepewność związana z przekształcaniem i interpretacją wyników

Definicje „stanu po użyciu” oraz „stanu nietrzeźwości” odwołują się do zawartości alkoholu etylowego we krwi w promilach (‰) oraz w powietrzu wydychanym w mg/dm³ (mg/l). W przypadku interpretacji uzyskanych wyników badań stanu trzeźwości nie ma zatem konieczności przeliczania stężenia alkoholu w powietrzu wydychanym na zawartość etanolu we krwi jak i na odwrót. Natomiast w przypadku, gdy wykonywany jest rachunek prospektywny, a badanie stanu trzeźwości opiera się na analizie powietrza wydychanego, konieczne jest takie przeliczenie, ponieważ trzeba porównać obliczone stężenie alkoholu, które wyrażone jest wtedy w promilach (‰) z wynikami badań stanu trzeźwości wyznaczonych w mg/dm³ (mg/l). W Polsce dla potrzeb sądowych wykorzystywany jest współczynnik podziału pomiędzy stężeniem etanolu we krwi i powietrzu wydychanym wynoszący 2100:1, w związku z czym wynik stężenia etanolu w powietrzu wydychanym wyrażony w mg/dm³ mnożymy przez 2,1 w celu uzyskania stężenia etanolu we krwi w promilach. Zakres współczynnika podziału etanolu krew/powietrze wydychane wynosi od 1800:1 w temperaturze 37°C do 2586:1 w temperaturze 34°C [25]. Jest to współczynnik wyznaczony eksperymentalnie, który wykazuje zmienność we-

lead to an underestimation or overestimation of the actual concentration. The value of this coefficient depends on the time at which alcohol consumption ends. According to the conducted research, a moment after consuming a portion of ethanol, the coefficient is about 2000:1, consecutively, 90 minutes after consuming alcohol, it increases to about 2100:1, while above 120 minutes it can be 2400:1 [14]. Different countries use various blood/exhaled air ethanol distribution coefficients, e.g. Finland 2400:1, the Netherlands and the UK 2300:1, France, Portugal 2000:1, and Germany, Sweden and Denmark 2100:1. The use of different values for the distribution coefficient in various countries indicates that the relationship between blood alcohol and exhaled breath is a complex issue, and making the appropriate calculations is subject to certain error [16].

5. Summary

This paper presents issues related to the problem of measurement uncertainty in providing opinions on the determination of state of sobriety, which is of particular importance in cases of interpreting ethanol concentrations in exhaled breath or blood close to the legal limits of state of sobriety and state of after alcohol use, or state of after alcohol use and state of in-sobriety.

Interpreting results of exhaled breath examination concerning concentrations close to the value of 0.1 mg/dm³ and 0.25 mg/dm³, the following factors should be taken into consideration influencing the measurements obtained, among others, measurement uncertainty of alcohol content in exhaled breath, absorption, distribution and metabolic processes of ethyl alcohol, as well as the possibility of lingering alcohol presence in the oral cavity. A problematic issue in providing opinions concerning interpretation of results is also improper execution of measurements of alcohol concentration in the subject tested, especially in the case of obtaining a result of ethanol concentration close to the legal limit in a single measurement of exhaled breath which was not verified by another measurement.

Whereas in the case of applying retrospective and prospective calculations for establishing the state of sobriety, it should be remembered that numerous factors influence the result uncertainty, which, among others, depend on the information provided by the subject tested. Therefore, it is justifiable, that in the situation when the suspect provides data concerning consumption with a high degree of uncertainty, the expert should draw conclusions with particular caution. Each case of overestimation or underestimation of uncertainty components may lead to erroneous conclusions. The awareness of uncertainty inherent in the results of sobriety state examinations or alcohol calculations, allows for reliable interpretation of examination results and establishing the state of sobriety of the subject tested.

wnątrz- i międzypersonalną. Przeliczenie wyniku badania wydechowego powietrza na zawartość alkoholu we krwi dla uzyskanego pomiaru może prowadzić do niedoszacowania lub przeszacowania rzeczywistego stężenia. Wartość tego współczynnika jest zależna od czasu zakończenia konsumpcji alkoholu. Z przeprowadzonych badań wynika, że chwilę po spożyciu porcji etanolu współczynnik ten wynosi około 2000:1, kolejno po 90 minutach od spożycia alkoholu wzrasta do około 2100:1, natomiast powyżej 120 minut może wynosić 2400:1 [14]. W różnych krajach stosowany jest różny współczynnik podziału etanolu krew/powietrze wydychane np. w Finlandii 2400:1, w Niderlandach i Wielkiej Brytanii 2300:1, we Francji, Portugalii 2000:1, a w Niemczech, Szwecji i Danii – 2100:1. Stosowanie różnych wartości współczynnika podziału w różnych krajach wskazuje, że zależność alkoholu we krwi i powietrzu wydychanym jest pojęciem złożonym i wykonywanie odpowiednich przeliczeń jest obarczone pewnym błędem [16].

5. Podsumowanie

W niniejszej pracy przedstawiono zagadnienia związane z problematyką niepewności pomiaru w opiniowaniu dotyczącym ustalenia stanu trzeźwości, która ma szczególne znaczenie w przypadkach interpretacji stężeń etanolu w powietrzu wydychanym czy krwi w pobliżu prawnych granic stanu trzeźwości i stanu po użyciu alkoholu lub stanu po użyciu alkoholu i stanu nietrzeźwości.

Interpretując wyniki badania powietrza wydechowego dotyczące stężeń bliskich wartości 0,1 mg/dm³ oraz 0,25 mg/dm³, należy wziąć pod uwagę czynniki wpływające na uzyskane pomiary m.in. niepewność pomiarową oznaczenia alkoholu w powietrzu wydychanym, procesy wchłaniania, dystrybucji i metabolizmu alkoholu etylowego oraz możliwość występowania alkoholu zalegającego w jamie ustnej. Problematiczną kwestią w opiniowaniu dotyczącym interpretacji wyników jest również nieprawidłowe wykonanie pomiarów stężenia alkoholu osoby badanej, zwłaszcza w przypadku uzyskania stężenia etanolu w pobliżu prawnej granicy w pojedynczym pomiarze powietrza wydechowego, który nie został zweryfikowany kolejnym pomiarem.

Natomiast w przypadku wykorzystania w ustaleniu stanu trzeźwości obliczeń retrospektywnych czy prospektywnych należy pamiętać, że na niepewność wyniku ma wpływ wiele czynników, które m.in. zależą od informacji przekazanych przez osobę badaną. Zasadnym jest zatem, aby w sytuacji, gdy podejrzany podaje dane dotyczące konsumpcji z dużą niepewnością, biegły wyciągał wnioski szczególnie ostrożnie. Każde przeszacowanie lub niedoszacowanie składowych niepewności może prowadzić do błędnych wniosków. Świadomość niepewności, jakimi obarczone są wyniki badania stanu trzeźwości czy obliczeń alkoholowych, pozwala na miarodajną interpretację wyników badań i ustalenia stanu trzeźwości osoby badanej.

References | Piśmiennictwo

1. Ustawa z dnia 26 października 1982 roku o wychowaniu w trzeźwości i przeciwdziałaniu alkoholizmowi, Dz.U. 1982 nr 35 poz. 230, <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU19820350230>.
2. Ustawa z dnia 6 czerwca 1997 roku, Kodeks karny, Dz.U. 1997 nr 88 poz. 553, <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU19970880553>.
3. Ustawa z dnia 20 maja 1971 roku Kodeks wykroczeń, Dz.U. 1971 nr 12 poz. 114, <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU19710120114>.
4. Rozporządzenie Ministra Zdrowia i Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 28 grudnia 2018 r. w sprawie badań na zawartość alkoholu w organizmie, Dz.U. 2018 poz. 2472, <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU20180002472>
5. Gullberg R. G. Estimating the measurement uncertainty in forensic breath-alcohol analysis. *Accreditation and Quality Assurance* 2006; 11: 562-568.
6. OIML. Evidential breath analyzers – International recommendation. International Organization of Legal Metrology 2021; R 126.
7. Adamski J., Zuba D. Uncertainty of breath alcohol measurement. *Problems of Forensic Sciences* 2015; 101: 39-49.
8. Opiniowanie w sprawach trzeźwości. Zasady przeprowadzania pomiarów stężenia alkoholu oraz opiniowania w sprawach trzeźwości. *Prokuratura i Prawo* 2023; 12:174-200.
9. Widmark E. M. P. Die theoretischen Grundlagen und die praktische Verwendbarkeit der gerichtlich-medizinischen Alkoholbestimmung. Urban & Schwarzenberg. Berlin 1932 (Translated to English in 1981 and entitled Principles and applications of medicolegal alcohol determinations. California, Biomedical Publications).
10. Alha A. Blood alcohol and clinical inebriation in Finnish men. *Annales Academiae Scientiarum Fennicae A* 26, 1951; 1-136.
11. Dubowski K. M. Human pharmacokinetics of ethanol 1. Peak blood concentrations and elimination in male and female subjects. *Alcohol Tech. Rep.* 1976; 5: 55-63.
12. Schweitzer H. Statistische Untersuchungen zur Alkoholelimination an 1512 Doppelentnahmen, *Blutalkohol* 5 1968; 73-91.
13. Jones A. W., Andersson L. Influence of age, gender, and blood-alcohol concentration on the disappearance rate of alcohol from blood in drinking drivers. *Journal of Forensic Sciences* 1996; 41: 922-926.
14. Jones A. W. Evidence-based survey of the elimination rates of ethanol from blood with applications in forensic casework. *Forensic Science International* 2010; 200, 1-20.
15. Jama D., Sekuła K., Zuba D. A comparison of prospective calculations with experimental alcohol curves. *Problems of Forensic Sciences* 2021; 128: 241-258.
16. Kała M., Wilk D., Wójcikiewicz J. Ekspertyza sądowa Zagadnienia wybrane. 3 wydanie. Wolters Kluwer SA 2017; 212.
17. Forrest A. R. W. Commentary: estimation of Widmark's factor. *Journal of the Forensic Science Society* 1986; 26(4): 249-252.
18. Watson P. E., Watson I. D., Batt, R. D. Prediction of blood alcohol concentrations in human subjects. Updating the Widmark equation. *Journal of Studies on Alcohol* 1981; 42: 547-556.
19. Seidl S., Jansen U., Alt A. The calculation of blood ethanol concentrations in males and females. *International Journal of Legal Medicine* 2000; 1114: 71-77.
20. Urlich L., Kramer Y., Zink P. Relevance of individual parameters in the calculation of blood alcohol levels in relation to the volume of intake. *Blutalkohol* 1987; 24: 192-198.
21. Posey D., Mozayani A. The estimation of blood alcohol concentration. *Forensic Science, Medicine and Pathology* 2007; 3: 33-39.
22. Zuba D., Piekoszewski W. Uncertainty in theoretical calculations of alcohol concentration. Proceedings of the 17th International Conference on Alcohol, Drugs and Traffic Safety. Glasgow 2004.
23. Gullberg R. G. Estimating the uncertainty associated with Widmark's equation as commonly applied in forensic toxicology. *Forensic Science International* 2007; 172: 33-39.
24. Searle J. Alcohol calculations and their uncertainty. *Medicine, Science and the Law* 2015; 55: 58-64.
25. Gubała W. Ocena stanu trzeźwości na podstawie analizy powietrza wydychanego na zawartość alkoholu. *Palestra* 1994; 38/3-4(435-436): 30-35.

Date:

date of submission | data nadesłania

18.01.2024

acceptance date | data akceptacji:

23.02.2024**Corresponding author:**

dr hab. n. farm. Marek Wiergowski
 Katedra i Zakład Medycyny Sądowej,
 Wydział Lekarski, Gdański Uniwersytet Medyczny,
 ul. Dębowa 23, 80-204, Gdańsk
 e-mail: marek.wiergowski@gumed.edu.pl

ORCID:

Karolina Szala: 0009-0005-2760-5629
 Karolina Sekuła: 0000-0001-8061-9388
 Dominika Jama: 0000-0002-4479-555X
 Marek Wiergowski: 0000-0001-8268-5506