



THE INFLUENCE OF PROSPECTIVE CALCULATION MODELS ON ACCURACY OF DETERMINING THE SOBRIETY STATE

Karolina SEKUŁA, Dominika JAMA, Dariusz ZUBA

Institute of Forensic Research, Kraków, Poland

Abstract

Forensic expert opinions in drink-driving cases may be based on calculations to predict blood alcohol concentration (BAC) at the time of an accident. Although experts use the same formulas to calculate the theoretical maximum alcohol concentration in the body, the conclusions are often different. This is due to various approaches to alcohol absorption in the body and to the difference between the theoretical and actual ethanol concentration. An analysis of publications on alcohol absorption shows that the time of alcohol absorption varies over a very wide range (from a few minutes to almost 3 hours). A wide range of alcohol absorption time results in different values of the gap between the theoretical and actual ethanol concentration (so-called alcohol deficit). Therefore, the use of a specific time of alcohol absorption or a specific value of the alcohol deficit in the calculations, due to the large inter-individual variance of these parameters, is practically impossible and would be based only on certain debatable assumptions.

In this study, the most common methods of alcohol calculations used by various experts were compared in order to choose an appropriate model of prospective estimation of alcohol content. These methods mainly differed in the time from which the elimination of alcohol was calculated. We analysed 32 cases of alcohol consumption by 8 women and 8 men, both on an empty stomach (fasting) and after a meal. In this paper, we compared the experimental ethanol concentration with theoretical values calculated by various methods.

An analysis of the obtained results allowed us to state that the best correlation was achieved for the method assuming immediate elimination from the beginning of consumption (used routinely by the authors), and the method assuming an absorption time of 30 minutes and a 10% alcohol deficit (difference between the theoretical and actual ethanol concentration).

Keywords

Alcohol; Time of absorption; Alcohol calculations; Prediction of BAC.

Received 3 December 2020; accepted 19 February 2021

1. Introduction

Expert opinions in cases about the determination of the ethanol content of a person involved in an accident or collision or a traffic violation may be based on a retrospective and/or prospective calculation. Establishing the state of sobriety of a person who has not consumed alcohol after an incident and has been tested with a breath analyser or had blood drawn for testing not long after finishing driving the involved vehicle

usually cause few problems. As long as the condition is met that the person was in the alcohol elimination phase at the time of the sobriety test and also at the time of the incident, it is possible to perform a retrospective calculation, which is based on Widmark's equation, which assumes that the decrease in ethanol concentration over time is constant.

The matter becomes more complicated when a long period of time elapses between the incident and the test and/or when the test subject has consumed

alcohol after finishing driving, i.e., so-called post-drive consumption has occurred. In such cases, it is not reasonable to perform a retrospective estimation, and only a prospective calculation can be done. These calculations can be used to determine the subject's alcohol concentration at the time of the incident, or can be performed in order to verify the subject's reported alcohol consumption scenario.

The prospective calculation is performed based on information concerning declared amounts of consumed alcohol. In the first stage, the maximum blood alcohol concentration, that a person of the suspect's physique could have reached after consuming the defined portion of alcohol, is calculated. The Widmark formula (Widmark, 1932) is used for this purpose:

$$c = \frac{A}{m \cdot r},$$

where:

- c – alcohol concentration [‰],
- A – amount of consumed alcohol [g],
- m – body weight [kg],
- r – alcohol distribution factor.

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

$$A = \frac{V \cdot c_V \cdot d}{100},$$

where:

- V – volume of consumed alcoholic beverage [ml],
- c_V – alcohol concentration in the beverage (vol.) [%],
- d – alcohol density [g/ml].

The maximum blood alcohol concentration calculated in this way refers to a situation in which the consumed alcohol was completely absorbed into the bloodstream before any elimination, and thus to a case most similar to the administration of ethanol intravenously. In practice, alcohol is most often taken orally in the form of alcoholic beverages, and its absorption from the gastrointestinal tract is extended over time. As a consequence, some of the alcohol is metabolized before its peak blood concentration occurs. Therefore, the actual ethanol content in the body is usually lower than that calculated on the basis of the Widmark formula. This difference is called the alcohol deficit.

The second step of the prospective calculation takes into account, if necessary, the amount of alcohol that has been metabolized up to the time of the incident and subtracts it from the maximum theoretical alcohol concentration (in the case of determining the ethanol content at the time of the incident). On the other hand, if a verification of the alcohol consumption scenario is

being carried out, the alcohol that has been eliminated up to the time of the sobriety test is taken into account, and the results of the calculation are compared with the results of analyses of blood samples or exhaled air.

Objections of parties to the proceedings in the case of the application of a prospective calculation may concern the accuracy of such estimations due to their theoretical nature, which does not relate directly to the actual conditions of consumption and, above all, to the characteristics of the body of the person whom the calculations concern.

On the one hand, the uncertainty of the result of the prospective calculation is influenced by the data entered into the Widmark formula – primarily, the uncertainty concerning the amount of alcohol consumed, but also the ethanol content of the given alcoholic beverage and data concerning the physique of the tested person, i.e., height and body mass (the accuracy of these data depends mainly on the reliability of the suspect's statement).

On the other hand, as transpires from situations encountered in courtrooms, the results and conclusions of the prospective calculations are strongly influenced by the varying approach of forensic experts to the method of calculation. Differences concern, for example, values of the alcohol distribution coefficients, which can be calculated according to various methods. The most popular methods are those of: Forrest (1986); Watson (Watson, Watson, Batt, 1981); Seidl, Jensen, Alt (2000), and Ulrich, Cramer, Zink (1987). All the methods of calculating these coefficients take into account the sex, body mass, and height of the subject, but for the calculation of the alcohol distribution factor according to Watson, the age of the studied person is additionally taken into account. If the prospective calculations do not involve a subject whose body mass index has an extreme value, the use of different alcohol distribution coefficients in prospective estimations has no significant effect on the result of the maximum theoretical alcohol concentration in the body. However, it is the authors' experience that a more significant aspect affecting conclusions based on prospective calculations is taking into account a varying time of alcohol absorption into the body, as well as a varying value of the alcohol deficit. In the older calculation methodology, for example, it was assumed that the metabolic process starts only after the whole dose of alcohol is absorbed, which, it should be emphasized, does not happen in reality (Zuba, 2017). This approach affected the method of prospective calculations, i.e., after calculating the maximum theoretical concentration of alcohol in the body, the time required for absorption of alcohol was taken into account, and the elimination of

alcohol was only measured starting from the endpoint of absorption. This calculation model is still used by some experts, and in prospective calculations encountered to date, an assumed alcohol absorption time in the range of 30–90 minutes has been observed. In expert opinions concerning determination of the state of sobriety, one can also encounter another approach regarding the time of the beginning of alcohol elimination, i.e., from the moment of the end of alcohol consumption. There are also differences in expert opinions on whether or not to take an alcohol deficit into account.

In the practice of the Institute of Forensic Research, when carrying out prospective calculations, we adopt an approach assuming that elimination of alcohol from the body starts from the moment of beginning alcohol consumption. This is justified by the fact that the absorbed portions of alcohol pass through the liver before it is distributed to the remaining organs of the body – the so-called first-pass effect (Jones, 2019). This approach does not require to include an alcohol deficit in the prospective calculations.

Due to the presented differences in expert opinions in cases of establishing the state of sobriety, the aim of the article is to indicate the correct way of performing prospective calculations, based on a comparison of the most frequently encountered estimation methods applied by different experts. Several variants of prospective calculations were considered:

- elimination calculated from the moment of starting consumption of alcohol, without taking into account an alcohol deficit (the method used by experts at the Institute of Forensic Research);
- elimination calculated from the end of the alcohol absorption phase, without taking into account an alcohol deficit;
- elimination calculated from the end of the alcohol absorption phase, taking into account an alcohol deficit.

2. Materials and methods

Alcohol consumption cases described by Sadler and Fox (2011) and alcohol curves plotted for them were analysed by the authors. Sadler and Fox's (2011) study concerned 16 individuals (8 females and 8 males) who consumed drinks with 15% alcohol content, equivalent in amount to 0.67 ml of ethanol per kg of body mass for males and 0.56 ml of ethanol per kg of body mass for females. In the present study, results (obtained by Sadler and Fox) for fasting and post-meal consumption of alcohol were analysed by the authors.

We observed what maximum alcohol concentrations were achieved by the subjects (c_{\max}), and in what time (T_{\max}), and what the alcohol concentrations in their body looked like 60 and 120 minutes after starting to consume alcohol. We compared the real values read from the alcohol curves with results of calculations carried out using three methods:

- elimination calculated from the start of alcohol consumption, without taking into account an alcohol deficit (method used by Institute of Forensic Research experts – method 1);
- elimination calculated from the end of the alcohol absorption phase (lasting 30, 60 or 90 minutes), without taking into account an alcohol deficit (method 2a, 2b, 2c);
- elimination calculated from the end of the alcohol absorption phase (lasting 30, 60 or 90 minutes), taking into account an alcohol deficit at the level of 10% (method 3a, 3b, 3c).

A rate of alcohol elimination in the range of 0.1–0.2 %/h was assumed in the calculations.

3. Results and discussion

In expert opinions based on prospective calculations, taking into account the varying time of alcohol absorption into the body, and an alcohol deficit seem to be problematic issues. The absorption of alcohol into the body is a highly variable process that depends on many factors. The rate at which the maximum concentration in the body is reached depends on, among other things, the type of alcohol consumed: the volume of beverage or dose (Mitchell, Teigen, Ramchandani, 2014) and the time (duration) of its consumption. It also depends on whether the alcohol was consumed on an empty stomach (fasting), with a meal (Sadler, Fox, 2011) or after a meal (Fraser, Rosalki, Gamble, Pounder, 1995). Table 1 summarizes the real alcohol absorption times dependent on the aforementioned parameters as observed by various researchers.

Extreme differences in the time of alcohol absorption into the body in a given studied group are shown by Dubowski (1976a, 1976b, 1985), indicating alcohol absorption time in the ranges: 14–138 minutes (in a group of studied females and males, with average absorption times of: 42 and 57 minutes, respectively); 9–114 minutes (in a group of 79 subjects, taking 0.5 g alcohol per kg body mass, with an average absorption time of 29 minutes); and 12–166 minutes (in a group of 79 subjects, taking 1.0 g alcohol per kg body mass, with an average absorption time of 52 minutes).

Table 1
Examples of alcohol absorption times depending on the consumption scenario

Alcohol absorption time [min]	Participants and consumption scenario	Data	References
62 ± 23 (beer) 54 ± 14 (wine) 36 ± 10 (alcoholic drink)	15 males, fasting consumption, time of consumption 20 min	Average age 37.8 (26–55) Average body weight 82.66 kg (68.6–96.4) Average BMI 26.35 (21.9–29.9) Beverages: beer (5.1% vol.), wine (12.5% vol.); vodka drink (20% vol.), dose 0.5 g/kg of body weight	Mitchell et al., 2014
46.5 (20–87.5)	8 males, fasting consumption, time of consumption 10 min	Average age 23.1 (21–26) Average body weight 80 kg (68–98) Average BMI 24.5 (21.2–29)	Sadler, Fox, 2011
19.3 (17–20)	8 males, consumption with meal, time of consumption 10 min	Beverage: vodka drink (15% vol.), dose 42.3 g (34.4–51.9)	
41 (30–60)	8 females, fasting consumption, time of consumption 10 min	Average age 23.4 (20–32) Average body weight 63.6 kg (55–82) Average BMI 24 (21–27.7)	
24.5 (18–50)	8 females, consumption with meal, time of consumption 10 min	Beverage: vodka drink (15% vol.), dose 28.1 g (24.3–36.3)	
25.9 ± 9.8 29.1 ± 9.8	22 males (2 groups), consumption 1 h before meal, time of consumption 1–2 min	Age 19–27 Average body weight 77.5 kg (65–109) Average BMI – nd	Fraser et al., 1995
33.6 ± 17.5 40.9 ± 20.2	22 males (2 groups), consumption 1 h after meal, time of consumption 1–2 min	Beverage: 200 ml of vodka drink with orange juice, dose 0.3 g/kg of body weight	
30–60	9 males, fasting consumption, time of consumption 15 min	Average age 24 Average body weight 75.8 kg (65–109) Average height 183 cm Beverage: vodka drink (20% vol.) with orange juice, dose 0.3 g/kg of body weight	Jones, Jonsson, Kechagias, 1997
30–90	9 males, consumption after a high-fat breakfast, time of consumption 15 min		
30–90	9 males, consumption after a high-carbohydrate breakfast, time of consumption 15 min		
30–60	9 males, consumption after a high-protein breakfast, time of consumption 15 min		

A similar analysis of parameters linked to the alcohol absorption process was carried out by Norberg, Jones, Hahn, Gabrielsson (2003). On the basis of this analysis, it can be concluded that mean alcohol absorption times are in the range of 23–68 minutes depending on the type of consumption and the studied

group of subjects. Most of the collected results indicate that alcohol absorption is faster when alcohol is consumed on an empty stomach (fasting) than when it is consumed after a meal, although there are situations where these times are similar. Furthermore, alcohol absorption times were compared for men and women,

as well as for morning and evening consumption. For both investigated variants, the mean values of absorption times were similar.

As can be seen from the presented data, the time of alcohol absorption into the body falls within a very wide range (actually from a few minutes to almost 3 hours). A large range of absorption time is observed in the case of different alcohol consumption scenarios (type of alcohol, time of alcohol consumption, meal eaten), but also in the situation of the same type of alcohol consumption, which is confirmed by the high values of standard deviation in given studied groups, and which indicates a large interindividual variability of this process.

The broad range of time of alcohol absorption into the body translates into different values of alcohol deficit. The real maximum ethanol concentration that can occur in the body after consuming the same dose of alcohol depends on the ethanol content of the beverage consumed, the speed of consumption, and on whether a meal is consumed with the alcohol. Based on a study conducted by Sadler and Fox (2011), it can be stated that when alcohol was consumed on an empty stomach (fasting), the average alcohol deficit for beverages of about 20% alcohol by volume was about 10%, while the average alcohol deficit was about 30% for consumption after a meal. On the other hand, a study by Mitchell and colleagues (2014) showed that in the case of consumption of beer (5.1% vol.), wine (12.5% vol.) and alcoholic drinks (20% vol.) in an amount leading to a concentration of 0.8‰ of alcohol in the body, the average alcohol deficit for the aforementioned beverages was about 40%, 15% and 8%, respectively. In turn, on the basis of the performed calculations, it has been assumed at the Institute that the alcohol deficit, depending on the type of alcohol consumed and the speed of consumption, may be from 10% (for fast vodka consumption) even up to 30% (for slow beer consumption).

The data presented above show that it is very difficult to precisely define the time of alcohol absorption into the body that would be taken into account in the prospective calculation. Determining the level of alcohol deficit may present similar problems. Very often in cases on establishing state of sobriety, there is no accurate information regarding of alcohol consumption (especially the exact duration of alcohol consumption or information about meals consumed). On the other hand, even if such data were available, inferring about the specific duration of alcohol absorption or the amount of alcohol deficit, due to the large interindividual variability of these parameters, would be practically impossible and would be based only

on certain assumptions. Therefore, we analysed the results of prospective calculations performed by several methods, and compared them with the real alcohol concentrations in the body of the studied subjects (8 women and 8 men). The results of calculations for the analysed cases are presented in Table 2.

Analysing the data collected in Table 2, it can be observed that the real time to the occurrence of maximum alcohol concentration (T_{\max}) for the studied persons was 52 minutes on average (in the range of 35–110 minutes), including for men – 52 minutes on average (in the range 35–110 minutes), and for women – 52 minutes on average (in the range 37–80 minutes). This time, in the case of fasting alcohol consumption, was 66 minutes on average for men, and 60 minutes for women; however, in the case of alcohol consumption after a meal it was 39 minutes on average for men, and 44 minutes for women. In turn, comparing the real maximum concentrations of alcohol achieved by subjects with theoretical values, it can be seen that the experimental (real) values were usually lower than the theoretical values. It was calculated that they differed on average by 25% (in the range 0–60%). In the case of fasting alcohol consumption, the difference between theoretical and real concentrations was 14% (in the range 0–29%), and in the case of alcohol consumption after a meal, it was 36% (in the range 9–60%). For two cases (one female and one male), higher real maximum alcohol concentrations than theoretical values were observed (by 21% and 26%).

During the analysis of the data, special attention was paid to comparing the values of the real alcohol concentration reached by the subjects at 60 and 120 minutes after the moment of starting consumption with the theoretical results of the calculations performed for the same times. It should be noted that when an alcohol absorption time of 1.5 hours was applied, the calculated alcohol concentration at 60 minutes was given as a value lower than the maximum theoretical alcohol concentration, because if this variant (1.5 hours) was assumed, the alcohol absorption phase would still be in progress at that time. To facilitate the analysis of the data collected in Table 2, we have bolded the values of the real alcohol concentrations reached by the subjects at 60 and 120 min from the moment of beginning of consumption, and the values of the theoretical concentrations calculated by various methods that correlated with the experimental values (using rounding off to the first decimal place for the calculated concentrations).

In order to compare the results of the calculations with the real concentrations, the absolute error of the prospective calculations was estimated, expressed by the difference between the mean of the estimated

Table 2
Comparison of the real ethanol concentrations with the results of prospective calculations performed using various methods

Participants and (alcohol) consumption scenario	Data	T _{max} [min]	Alcohol concentration	Alcohol concentration												
				Exp.	estimated by the IFR method			estimated with different absorption times			estimated with 10% deficit and different absorption times					
					method 1	0.5h	1h	method 2a	method 2b	1.5h	method 2c	0.5h	method 3a	1h	method 3b	1.5h
Male 1 Fasting consumption	183 cm 84 kg r = 0.71	80	c_{max}	0.61	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.67	0.67	0.67	0.67
	$c_{60'}$		0.50	0.54–0.64	0.64–0.69	0.74	0.74	<0.74	0.57–0.62	0.67	0.67	0.67	<0.67			
	$c_{120'}$		0.46	0.34–0.54	0.44–0.59	0.54–0.64	0.64–0.69	0.64–0.69	0.37–0.52	0.47–0.57	0.67	0.67	0.67	0.57–0.62		
Male 1 Consumption after meal	183 cm 84 kg r = 0.71	40	c_{max}	0.40	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.67	0.67	0.67	0.67
	$c_{60'}$		0.32	0.54–0.64	0.64–0.69	0.74	0.74	<0.74	0.57–0.62	0.67	0.67	0.67	<0.67			
	$c_{120'}$		0.36	0.34–0.54	0.44–0.59	0.54–0.64	0.64–0.69	0.64–0.69	0.37–0.52	0.47–0.57	0.67	0.67	0.67	0.57–0.62		
Male 2 Fasting consumption	176 cm 66 kg r = 0.76	50	c_{max}	0.71	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.63	0.63	0.63	0.63
	$c_{60'}$		0.63	0.50–0.60	0.60–0.65	0.70	0.70	<0.70	0.53–0.58	0.63	0.63	0.63	<0.63			
	$c_{120'}$		0.40	0.30–0.50	0.40–0.55	0.50–0.60	0.60–0.65	0.60–0.65	0.33–0.48	0.43–0.53	0.63	0.63	0.63	0.53–0.58		
Male 2 Consumption after meal	176 cm 66 kg r = 0.76	35	c_{max}	0.44	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.63	0.63	0.63	0.63
	$c_{60'}$		0.34	0.50–0.60	0.60–0.65	0.70	0.70	<0.70	0.53–0.58	0.63	0.63	0.63	<0.63			
	$c_{120'}$		0.23	0.30–0.50	0.40–0.55	0.50–0.60	0.60–0.65	0.60–0.65	0.33–0.48	0.43–0.53	0.63	0.63	0.63	0.53–0.58		
Male 3 Fasting consumption	186 cm 88 kg r = 0.71	60	c_{max}	0.59	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.67	0.67	0.67	0.67
	$c_{60'}$		0.59	0.54–0.64	0.64–0.69	0.74	0.74	<0.74	0.57–0.62	0.67	0.67	0.67	<0.67			
	$c_{120'}$		0.38	0.34–0.54	0.44–0.59	0.54–0.64	0.64–0.69	0.64–0.69	0.37–0.52	0.47–0.57	0.67	0.67	0.67	0.57–0.62		

Participants and (alcohol) consumption scenario	Data	Tmax [min]	Alcohol concentration	Alcohol concentration												
				Exp.	estimated by the IFR method		estimated with different absorption times			estimated with 10% deficit and different absorption times						
					method 1	0.5h	1h	method 2a	method 2b	1.5h	method 2c	0.5h	method 3a	1h	method 3b	1.5h
Male 3 Consumption after meal	186 cm 88 kg r = 0.71	40	c_{max}	0.46	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67
	$c_{60'}$		0.36	0.54-0.64	0.74	<0.74	0.57-0.62	0.67	<0.67							
	$c_{120'}$		0.32	0.44-0.59	0.54-0.64	0.64-0.69	0.37-0.52	0.47-0.57	0.57-0.62							
Male 4 Fasting consumption	191 cm 98 kg r = 0.69	65	c_{max}	0.67	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	
	$c_{60'}$		0.65	0.56-0.66	0.76	<0.76	0.58-0.63	0.68	<0.68							
	$c_{120'}$		0.59	0.46-0.61	0.56-0.66	0.66-0.71	0.38-0.53	0.48-0.58	0.58-0.63							
Male 4 Consumption after meal	191 cm 98 kg r = 0.69	38	c_{max}	0.69	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	
	$c_{60'}$		0.42	0.56-0.66	0.76	<0.76	0.58-0.63	0.68	<0.68							
	$c_{120'}$		0.34	0.46-0.61	0.56-0.66	0.66-0.71	0.38-0.53	0.48-0.58	0.58-0.63							
Male 5 Fasting consumption	175 cm 65 kg r = 0.76	70	c_{max}	0.61	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	
	$c_{60'}$		0.59	0.49-0.59	0.69	<0.69	0.52-0.57	0.62	<0.62							
	$c_{120'}$		0.40	0.29-0.49	0.49-0.59	0.59-0.64	0.32-0.47	0.42-0.52	0.52-0.57							
Male 5 Consumption after meal	175 cm 65 kg r = 0.76	40	c_{max}	0.38	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62	
	$c_{60'}$		0.29	0.49-0.59	0.69	<0.69	0.52-0.57	0.62	<0.62							
	$c_{120'}$		0.25	0.39-0.54	0.49-0.59	0.59-0.64	0.32-0.47	0.42-0.52	0.52-0.57							

Participants and (alcohol) consumption scenario	Data	T _{max} [min]	Alcohol concentration	Alcohol concentration												
				Exp.	estimated by the IFR method		estimated with different absorption times			estimated with 10% deficit and different absorption times						
					method 1	0.5h	1h	1.5h	method 2a	method 2b	method 2c	0.5h	1h	1.5h	method 3a	method 3b
Male 6 Fasting consumption	180 cm 74 kg r = 0.74	40	c_{max}	0.86	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64
	$c_{60'}$		0.69	0.51–0.61	0.61–0.66	0.71	<0.71	0.61–0.66	0.64	0.64	0.54–0.59	0.64	0.64	<0.64		
	$c_{120'}$		0.36	0.31–0.51	0.41–0.56	0.51–0.61	0.61–0.66	0.34–0.49	0.44–0.54	0.54–0.59	0.64	0.64	0.54–0.59			
Male 6 Consumption after meal	180 cm 74 kg r = 0.74	40	c_{max}	0.38	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.64	0.64	0.64	0.64	0.64
	$c_{60'}$		0.34	0.51–0.61	0.61–0.66	0.71	<0.71	0.54–0.59	0.64	0.64	0.54–0.59	0.64	<0.64			
	$c_{120'}$		0.21	0.31–0.51	0.41–0.56	0.51–0.61	0.61–0.66	0.34–0.49	0.44–0.54	0.54–0.59	0.64	0.64	0.54–0.59			
Male 7 Fasting consumption	179 cm 79 kg r = 0.72	50	c_{max}	0.69	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67
	$c_{60'}$		0.67	0.54–0.64	0.64–0.69	0.74	<0.74	0.57–0.62	0.67	0.67	0.67	0.57–0.62				
	$c_{120'}$		0.48	0.34–0.54	0.44–0.59	0.54–0.64	0.64–0.69	0.37–0.52	0.47–0.57	0.67	0.67	0.57–0.62				
Male 7 Consumption after meal	179 cm 79 kg r = 0.72	40	c_{max}	0.50	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67
	$c_{60'}$		0.42	0.54–0.64	0.64–0.69	0.74	<0.74	0.57–0.62	0.67	0.67	0.57–0.62	0.67	<0.67			
	$c_{120'}$		0.34	0.34–0.54	0.44–0.59	0.54–0.64	0.64–0.69	0.37–0.52	0.47–0.57	0.67	0.67	0.57–0.62				
Male 8 Fasting consumption	172 cm 86 kg r = 0.67	110	c_{max}	0.67	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71	0.71
	$c_{60'}$		0.46	0.59–0.69	0.69–0.74	0.79	<0.79	0.61–0.66	0.71	0.71	0.61–0.66	0.71	<0.71			
	$c_{120'}$		0.57	0.39–0.59	0.49–0.64	0.59–0.69	0.69–0.74	0.41–0.56	0.51–0.61	0.71	0.71	0.61–0.66	0.61–0.66			

Participants and (alcohol) consumption scenario	Data	Tmax [min]	Alcohol concentration	Alcohol concentration												
				Exp.	estimated by the IFR method			estimated with different absorption times			estimated with 10% deficit and different absorption times					
					method 1	0.5h	1h	method 2a	method 2b	1.5h	method 2c	0.5h	method 3a	1h	method 3b	1.5h
Male 8 Consumption after meal	172 cm 86 kg r = 0.67	40	c_{max}	0.48	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.71	0.71	0.71	0.71
	$c_{60'}$		0.40	0.59-0.69	0.79	0.69-0.74	0.79	<0.79	<0.79	0.61-0.66	0.71	0.71	<0.71			
	$c_{120'}$		0.32	0.39-0.59	0.59-0.69	0.49-0.64	0.59-0.69	0.69-0.74	0.41-0.56	0.51-0.61	0.61-0.66	0.51-0.61	0.61-0.66			
Female 1 Fasting consumption	160 cm 71 kg r = 0.59	67	c_{max}	0.59	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.68	0.68	0.68	0.68
	$c_{60'}$		0.59	0.55-0.65	0.75	0.65-0.70	0.75	<0.75	<0.75	0.58-0.63	0.68	0.68	<0.68			
	$c_{120'}$		0.46	0.35-0.55	0.45-0.60	0.45-0.60	0.55-0.65	0.65-0.70	0.38-0.53	0.48-0.58	0.38-0.53	0.48-0.58	0.58-0.63			
Female 1 Consumption after meal	160 cm 71 kg r = 0.59	37	c_{max}	0.61	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68
	$c_{60'}$		0.34	0.55-0.65	0.75	0.65-0.70	0.75	<0.75	<0.75	0.58-0.63	0.68	0.68	<0.68			
	$c_{120'}$		0.21	0.35-0.55	0.55-0.65	0.45-0.60	0.55-0.65	0.65-0.70	0.38-0.53	0.48-0.58	0.38-0.53	0.48-0.58	0.58-0.63			
Female 2 Fasting consumption	165 cm 63 kg r = 0.65	55	c_{max}	0.48	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61
	$c_{60'}$		0.48	0.48-0.58	0.68	0.58-0.63	0.68	<0.68	<0.68	0.51-0.56	0.61	0.61	<0.61			
	$c_{120'}$		0.32	0.28-0.48	0.38-0.53	0.38-0.53	0.48-0.58	0.58-0.63	0.31-0.46	0.31-0.46	0.41-0.51	0.41-0.51	0.51-0.56			
Female 2 Consumption after meal	165 cm 63 kg r = 0.65	70	c_{max}	0.27	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61
	$c_{60'}$		0.27	0.48-0.58	0.68	0.58-0.63	0.68	<0.68	<0.68	0.51-0.56	0.61	0.61	<0.61			
	$c_{120'}$		0.21	0.28-0.48	0.38-0.53	0.38-0.53	0.48-0.58	0.58-0.63	0.31-0.46	0.41-0.51	0.41-0.51	0.51-0.56	0.51-0.56			

Participants and (alcohol) consumption scenario	Data	Tmax [min]	Alcohol concentration	Alcohol concentration												
				Exp.	estimated by the IFR method			estimated with different absorption times			estimated with 10% deficit and different absorption times					
					method 1	0.5h	1h	method 2a	method 2b	1.5h	method 2c	0.5h	method 3a	1h	method 3b	1.5h
Female 3 Fasting consumption	166 cm 58 kg r = 0.68	55	c_{max}	0.59	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59
	$c_{60'}$		0.57	0.45-0.55	0.65	0.55-0.60	0.65	<0.65	<0.65	0.49-0.54	0.59	0.59	<0.59	<0.59	<0.59	
	$c_{120'}$		0.38	0.25-0.45	0.45-0.55	0.35-0.50	0.45-0.55	0.55-0.60	0.55-0.60	0.29-0.44	0.39-0.49	0.39-0.49	0.49-0.54	0.49-0.54	0.49-0.54	
Female 3 Consumption after meal	166 cm 58 kg r = 0.68	40	c_{max}	0.40	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59
	$c_{60'}$		0.34	0.45-0.55	0.65	0.55-0.60	0.65	<0.65	<0.65	0.49-0.54	0.59	0.59	<0.59	<0.59		
	$c_{120'}$		0.17	0.25-0.45	0.45-0.55	0.35-0.50	0.45-0.55	0.55-0.60	0.55-0.60	0.29-0.44	0.39-0.49	0.39-0.49	0.49-0.54	0.49-0.54		
Female 4 Fasting consumption	174 cm 82 kg r = 0.60	70	c_{max}	0.69	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67
	$c_{60'}$		0.67	0.54-0.64	0.74	0.64-0.69	0.74	<0.74	<0.74	0.57-0.62	0.67	0.67	<0.67	<0.67		
	$c_{120'}$		0.57	0.34-0.54	0.54-0.64	0.44-0.59	0.54-0.64	0.64-0.69	0.64-0.69	0.37-0.52	0.47-0.57	0.47-0.57	0.57-0.62	0.57-0.62		
Female 4 Consumption after meal	174 cm 82 kg r = 0.60	38	c_{max}	0.55	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67
	$c_{60'}$		0.44	0.54-0.64	0.74	0.64-0.69	0.74	<0.74	<0.74	0.57-0.62	0.67	0.67	<0.67	<0.67		
	$c_{120'}$		0.36	0.34-0.54	0.44-0.59	0.44-0.59	0.54-0.64	0.64-0.69	0.64-0.69	0.37-0.52	0.47-0.57	0.47-0.57	0.57-0.62	0.57-0.62		
Female 5 Fasting consumption	165 cm 64 kg r = 0.64	60	c_{max}	0.61	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.62	0.62	0.62	0.62	0.62
	$c_{60'}$		0.61	0.49-0.59	0.69	0.59-0.64	0.69	<0.69	<0.69	0.52-0.57	0.62	0.62	<0.62	<0.62		
	$c_{120'}$		0.38	0.29-0.49	0.39-0.54	0.39-0.54	0.49-0.59	0.59-0.64	0.59-0.64	0.32-0.47	0.42-0.52	0.42-0.52	0.52-0.57	0.52-0.57		

Participants and (alcohol) consumption scenario	Data	Tmax [min]	Alcohol concentration	Exp.	Alcohol concentration								
					estimated by the IFR method			estimated with different absorption times			estimated with 10% deficit and different absorption times		
					method 1	0.5h method 2a	1h method 2b	1.5h method 2c	0.5h method 3a	1h method 3b	1.5h method 3c		
Female 5 Consumption after meal	165 cm 64 kg r = 0.64	40	c_{max}	0.42	0.69	0.69	0.69	0.69	0.62	0.62	0.62	0.62	
	$c_{60'}$		0.36	0.49-0.59	0.69	<0.69	0.52-0.57	0.62	<0.62				
	$c_{120'}$		0.21	0.29-0.49	0.49-0.59	0.59-0.64	0.32-0.47	0.42-0.52	0.52-0.57				
Female 6 Fasting consumption	149 cm 55 kg r = 0.63	50	c_{max}	0.88	0.70	0.70	0.70	0.70	0.63	0.63	0.63	0.56	
	$c_{60'}$		0.80	0.50-0.60	0.70	<0.70	0.53-0.58	0.63	<0.63				
	$c_{120'}$		0.48	0.30-0.50	0.50-0.60	0.60-0.65	0.33-0.48	0.43-0.53	0.53-0.58				
Female 6 Consumption after meal	149 cm 55 kg r = 0.63	40	c_{max}	0.44	0.70	0.70	0.70	0.70	0.63	0.63	0.63	0.56	
	$c_{60'}$		0.32	0.50-0.60	0.70	<0.70	0.53-0.58	0.63	<0.63				
	$c_{120'}$		0.19	0.30-0.50	0.50-0.60	0.60-0.65	0.33-0.48	0.43-0.53	0.53-0.58				
Female 7 Fasting consumption	160 cm 55 kg r = 0.67	80	c_{max}	0.50	0.66	0.66	0.66	0.66	0.59	0.59	0.59	0.59	
	$c_{60'}$		0.48	0.46-0.56	0.66	<0.66	0.49-0.54	0.59	<0.59				
	$c_{120'}$		0.40	0.26-0.46	0.36-0.51	0.56-0.61	0.29-0.44	0.39-0.49	0.49-0.54				
Female 7 Consumption after meal	160 cm 55 kg r = 0.67	45	c_{max}	0.48	0.66	0.66	0.66	0.66	0.59	0.59	0.59	0.59	
	$c_{60'}$		0.42	0.46-0.56	0.66	<0.66	0.49-0.54	0.59	<0.59				
	$c_{120'}$		0.27	0.26-0.46	0.36-0.51	0.56-0.61	0.29-0.44	0.39-0.49	0.49-0.54				

Participants and (alcohol) consumption scenario	Data	Tmax [min]	Alcohol concentration	Alcohol concentration											
				Exp.	estimated by the IFR method			estimated with different absorption times			estimated with 10% deficit and different absorption times				
					method 1	0.5h	1h	method 2a	method 2b	1.5h	method 2c	0.5h	method 3a	1h	method 3b
Female 8 Fasting consumption	163 cm 61 kg r = 0.65 228 ml of alcohol (15% vol.)	45	c_{max}	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.61	0.61	0.61	0.61
			$c_{60'}$	0.48-0.58	0.68	0.68	0.58-0.63	<0.68	<0.68	0.51-0.56	0.61	0.61	<0.61	<0.61	
			$c_{120'}$	0.28-0.48	0.38-0.53	0.48-0.58	0.31-0.46	0.58-0.63	0.58-0.63	0.41-0.51	0.61	0.61	0.51-0.56	0.51-0.56	
Female 8 Consumption after meal	163 cm 61 kg r = 0.65 228 ml of alcohol (15% vol.)	39	c_{max}	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.61	0.61	0.61	0.61
			$c_{60'}$	0.48-0.58	0.68	0.68	0.58-0.63	<0.68	<0.68	0.51-0.56	0.61	0.61	<0.61	<0.61	
			$c_{120'}$	0.28-0.48	0.38-0.53	0.48-0.58	0.31-0.46	0.58-0.63	0.58-0.63	0.41-0.51	0.61	0.61	0.51-0.56	0.51-0.56	

ranges and the experimental value of the alcohol concentration. The estimated error values were grouped in ranges: 0.00–0.10%, 0.11–0.20%, 0.21–0.30%, 0.31–0.40% and 0.41–0.50%. Next, for each method of prospective calculation, the number of cases for which the absolute error fell within the above ranges was counted. The given number of cases was expressed as a percentage of all results within each prospective calculation method. The collected data are presented in Table 3 and Fig. 1. The same calculations were performed separately for the results for fasting alcohol consumption and post-meal. The obtained data are presented in Figures 2 and 3.

An analysis of the results shows that the highest number of cases for which the absolute error of the prospective calculations was the lowest was observed for the following methods:

- elimination calculated from the moment of starting consumption, without taking into account an alcohol deficit (method used by Institute of Forensic Research experts – method 1);
- elimination calculated from the end of the alcohol absorption phase lasting 30 minutes, taking into account an alcohol deficit of 10% – method 3a.

The absolute error for all cases within these methods was in the range of 0.00–0.30%, of which about half were results with an error of up to 0.10%.

A lower correlation between calculation results and real alcohol concentrations was obtained for the following methods:

- elimination calculated from the end of the alcohol absorption phase lasting 30 minutes – method 2a,
- elimination calculated from the end of the alcohol absorption phase lasting 60 minutes – method 2b,
- elimination calculated from the end of the alcohol absorption phase lasting 60 minutes, taking into account an alcohol deficit of 10% – method 3b.

For these three methods, an absolute error falling within the range 0.00–0.30% occurred in respectively: 86%, 63% and 86% of cases.

For the remaining two methods:

- elimination calculated from the end of the alcohol absorption phase lasting 90 minutes – method 2c,
- elimination calculated from the end of the alcohol absorption phase lasting 90 minutes, taking into account an alcohol deficit at a level of 10% – method 3c,

the lowest correlation between the results of prospective calculations and experimental values of ethanol concentrations was obtained. For these two methods, an absolute error falling within the range 0.00–0.30% occurred in, respectively: 25% and 36% of cases.

Table 3
Comparison of prospective calculation methods

The difference between the experimental value of alcohol concentration and estimated	Number of calculation results for IFR method	Number of calculation results for method with different absorption times				Number of calculation results for method with 10% deficit and different absorption times			
		0.5 h		1 h		0.5 h		1 h	
		method 2a	method 2b	method 2c	method 2a	method 3a	method 3b	method 3c	
0.00–0.10‰	method 1 32 (50%)	24 (37%)	12 (19%)	2 (3%)	31 (48%)	24 (37%)	4 (6%)		
0.11–0.20‰	19 (30%)	14 (22%)	16 (25%)	5 (8%)	19 (30%)	14 (22%)	9 (14%)		
0.21–0.30‰	13 (20%)	17 (27%)	12 (19%)	9 (14%)	14 (22%)	17 (27%)	10 (16%)		
0.31–0.40‰	0 (0%)	9 (14%)	20 (31%)	11 (17%)	0 (0%)	9 (14%)	9 (14%)		
0.41–0.50‰	0 (0%)	0 (0%)	4 (6%)	5 (8%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)		
No results*	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	32 (50%)	0 (0%)	0 (0%)	32 (50%)		

* no results for calculation method assuming 1.5 h absorption

Furthermore, for 50% of cases, due to accepting an absorption time of 90 minutes, results of prospective calculations which could be compared with real values of ethanol concentrations were not obtained, since according to these methods, 60 minutes from the start of consumption (the first time for which calculations were performed, Table 2) alcohol continued to be absorbed into the body.

Analysis of the results obtained for fasting and post-meal alcohol consumption indicates that calculation methods 1 and 3a are the best regardless of the type of consumption, while methods 2a, 2b and 3b perform better for fasting consumption compared to post-meal consumption. The lowest correlation was obtained for methods 2c and 3c (Figures 2 and 3).

4. Summary and conclusions

Expert practice shows that in sobriety cases, experts use different methods of prospective calculations, sometimes leading to different conclusions. In expert opinions, you can also encounter a varying approach to the time of start of alcohol elimination and to taking or not taking into account an alcohol deficit. As transpires from the analysis of publications on alcohol absorption, the time (duration) of alcohol absorption into the body lies within a very wide range (in fact, from a few minutes to almost 3 hours). The wide range of alcohol absorption time translates into a varying value of alcohol deficit. Therefore, the application of a specific alcohol absorption time or a specific amount of alcohol deficit in the prospective calculations, due to the wide interindividual variability of these parameters, is practically impossible and would be based only on certain assumptions.

At the Institute of Forensic Research, in the case of performing a prospective calculation, the applied approach assumes that elimination of alcohol from the body occurs as soon as alcohol consumption begins. This approach does not require taking into account an alcohol deficit.

Due to the differences in the way of assessing sobriety state, the most common methods of prospective calculations used by various experts were compared. Several variants of prospective calculations were considered:

- elimination calculated from the start of alcohol consumption, without taking into account an alcohol deficit (the method used by Institute of Forensic Research experts – method 1);
- elimination calculated from the end of the alcohol absorption phase (lasting 30, 60 or 90 minutes),

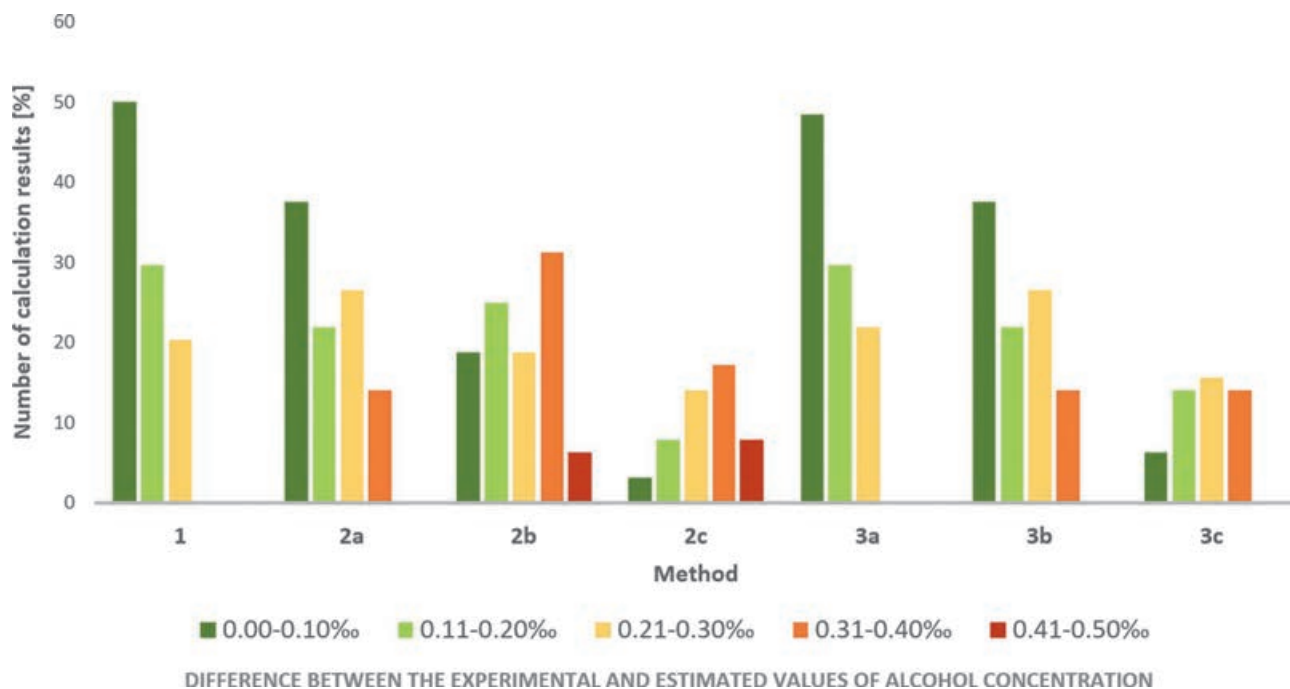


Fig. 1. Comparison of prospective calculation methods.

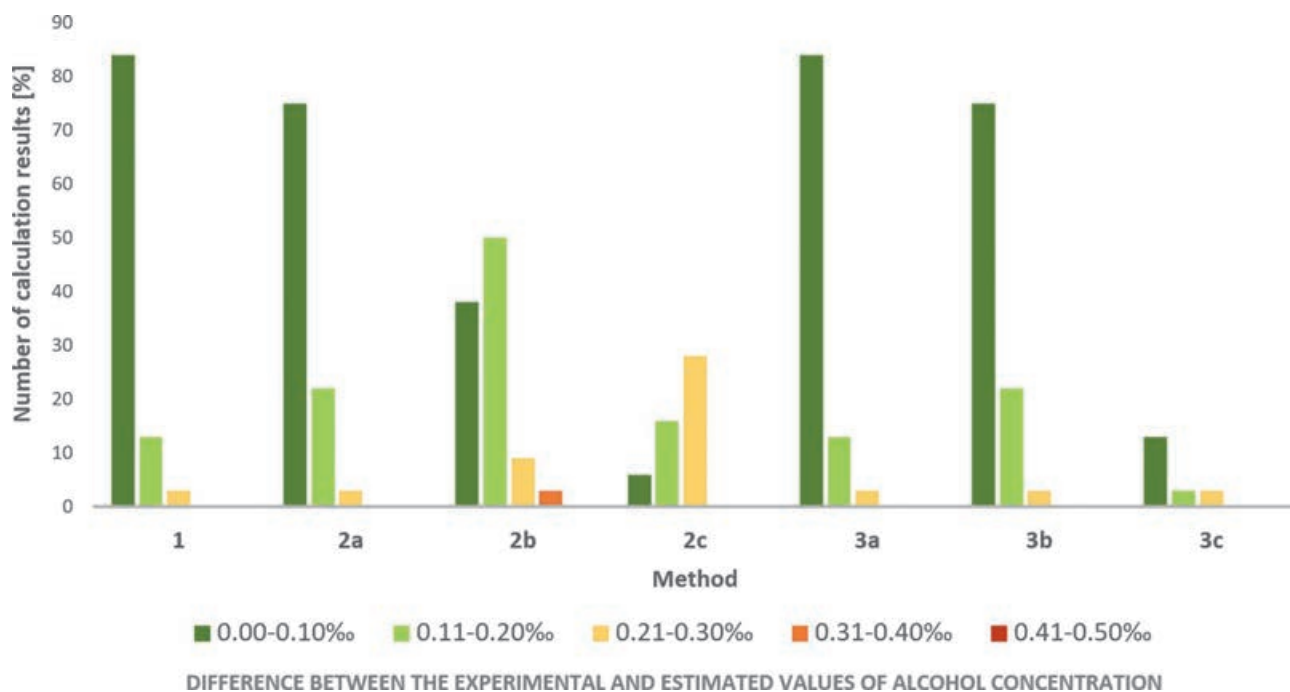


Fig. 2. Comparison of prospective calculation methods for fasting consumption.

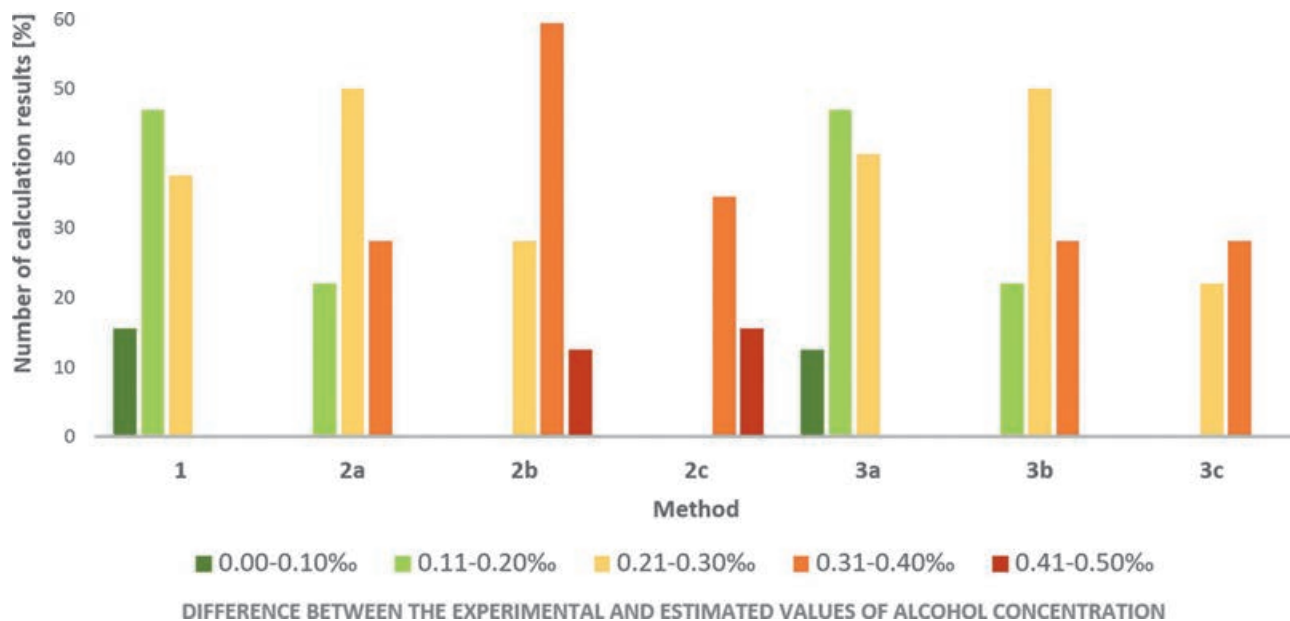


Fig. 3. Comparison of prospective calculation methods for consumption after meal.

without taking into account an alcohol deficit (method 2a, 2b, 2c);

- elimination calculated from the end of the alcohol absorption phase (lasting 30, 60 or 90 minutes), taking into account an alcohol deficit of 10% (method 3a, 3b, 3c).

The analysis of the obtained calculation results allows us to state that the best correlation was obtained for method 1 (applied at the Institute of Forensic Research) and method 3a, assuming an absorption time of 30 minutes and 10% alcohol deficit. The absolute errors for both methods were comparable, so it seems more practical to use method 1 as it does not require additional calculations related to the absorption time and alcohol deficit. However, the lowest correlation was obtained for method 2c and method 3c, assuming an absorption time of 90 minutes with eventual 10% alcohol deficit.

A comparison of the calculation results with the experimental values of alcohol concentrations obtained by the subjects showed clearly that the optimal model of prospective calculation, most accurately reflecting the real alcohol content in the body is the method of calculation taking into account the fact that the elimination of alcohol from the body occurs already at the moment of beginning consumption.

References

1. Dubowski, K. M. (1985). Absorption, distribution and elimination of alcohol: Highway safety aspects. *Journal of Studies on Alcohol*, 10, 98–108.
2. Dubowski, K. M. (1976b). Human pharmacokinetics of ethanol: Further studies. *Clinical Chemistry*, 22, 1199.
3. Dubowski, K. M. (1976a). Human pharmacokinetics of ethanol 1. Peak blood concentrations and elimination in male and female subjects. *Alcohol Technical Reports*, 5, 55–63.
4. Forrest, A. R. W. (1986). Commentary: estimation of Widmark's factor. *Journal of the Forensic Sciences Society*, 26(4), 249–252.
5. Fraser, A. G., Rosalki, S. B., Gamble, G. D., Pounder, R. E. (1995). Inter-individual and intra-individual variability of ethanol concentration-time profiles: comparison of ethanol ingestion before or after an evening meal. *British Journal of Clinical Pharmacology*, 40, 387–392.
6. Jones, A. W. (2019). Alcohol, its absorption, distribution, metabolism, and excretion in the body and pharmacokinetic calculations. *Wires Forensic Science*, 1(5), e1340, 1–26
7. Jones, A. W., Jonsson, K. A., Kechagias, S. (1997). Effect of high-fat, high-protein, and high-carbohydrate meals on the pharmacokinetics of a small dose of ethanol. *British Journal of Clinical Pharmacology*, 44, 521–526.
8. Mitchell, M. C., Jr., Teigen, E. L., Ramchandani, V. A. (2014). Absorption and peak blood alcohol concentration after drinking beer, wine, or spirits. *Alcoholism: Clinical and Experimental Research*, 38(5), 1200–1204.

9. Norberg, A., Jones, A. W., Hahn, R. G., Gabrielsson, J. L. (2003). Role of variability in explaining ethanol pharmacokinetics. Research and forensic applications. *Clinical Pharmacokinetics*, 42(1), 1–31.
10. Sadler, D. W., Fox, J. (2011). Intra-individual and inter-individual variation in breath alcohol pharmacokinetics: The effect of food on absorption. *Science and Justice*, 51, 3–9.
11. Seidl, S., Jansen, U., Alt, A. (2000). The calculation of blood ethanol concentrations in males and females. *International Journal of Legal Medicine*, 1114, 71–77.
12. Ulrich, L., Kramer, Y., Zink, P. (1987). Relevance of individual parameters in the calculation of blood alcohol levels in relation to the volume of intake. *Blutalkohol*, 24, 192–198.
13. Watson, P. E., Watson, I. D., Batt, R. D. (1981). Prediction of blood alcohol concentrations in human subjects. Updating the Widmark equation. *Journal of Studies on Alcohol*, 42, 547–556.
14. Widmark, E. M. P. (1932). *Die theoretischen Grundlagen und die praktische Verwendbarkeit der gerichtlich-medizinischen Alkoholbestimmung*. Berlin: Urban&Schwarzenberg (Translated to English in 1981 and entitled *Principles and applications of medicolegal alcohol determinations*. California: Biomedical Publications).
15. Zuba, D. (2017). Ekspertyza alkoholologiczna. (In) M. Kała, D. Wilk, J. Wójcikiewicz (Eds.), *Ekspertyza sądowa. Zagadnienia wybrane* (pp. 198–228). Warszawa: Wolters Kluwer.

Corresponding author

Dr. Karolina Sekuła
Institute of Forensic Research
ul. Westerplatte 9
PL 31-033 Kraków
e-mail: ksekula@ies.krakow.pl

WPŁYW MODELU OBLICZEŃ PROSPEKTYWNYCH NA POPRAWNOŚĆ USTALENIA STANU TRZEŹWOŚCI

1. Wprowadzenie

Opiniowanie w sprawach dotyczących określenia zawartości alkoholu etylowego w organizmie osoby uczestniczącej w wypadku lub kolizji albo naruszającej zasady ruchu drogowego może opierać się na rachunku retrospektywnym i/lub prospektywnym. Ustalenie stanu trzeźwości osoby, która nie spożywała alkoholu po zdarzeniu i w niedługim czasie po zakończeniu jazdy samochodem została przebadana analizatorem wydechu lub pobrano od niej krew do badań, zazwyczaj nie nastręcza wielu problemów. O ile spełniony jest warunek, że osoba taka znajdowała się w fazie eliminacji alkoholu w trakcie badania stanu trzeźwości, a także w chwili zdarzenia, możliwe jest przeprowadzenie rachunku retrospektywnego, który opiera się na równaniu Widmarka zakładającym, że spadek stężenia etanolu w czasie jest stały.

Sprawa komplikuje się w sytuacji, gdy od zdarzenia do badania mija dużo czasu i/lub gdy osoba badana spożywała alkohol po zakończeniu jazdy samochodem, tzn. nastąpiło tzw. nadpicie. W takich przypadkach nie jest zasadne wykonywanie obliczeń retrospektywnych, a jedynie możliwe jest wykorzystanie rachunku prospektywnego. Obliczenia te mogą służyć do ustalenia stężenia alkoholu w chwili zdarzenia u osoby badanej lub mogą być przeprowadzane w celu weryfikacji podanego przez nią scenariusza konsumpcji alkoholu.

Rachunek prospektywny przeprowadzany jest w oparciu o informacje dotyczące deklarowanych ilości spożytego alkoholu. W pierwszym etapie wylicza się maksymalne stężenie alkoholu we krwi, jakie osoba o budowie ciała podejrzanego mogła osiągnąć po spożyciu określonej porcji alkoholu. Do tego celu stosuje się wzór Widmarka (Widmark, 1932):

$$c = \frac{A}{m \cdot r},$$

gdzie:

c – stężenie alkoholu [%o],

A – ilość spożytego alkoholu [g],

m – masa ciała [kg],

r – współczynnik rozmieszczenia alkoholu.

Ilość spożytego alkoholu można obliczyć z następującego wzoru:

$$A = \frac{V \cdot c_v \cdot d}{100},$$

gdzie:

V – objętość spożytego napoju alkoholowego [ml],

c_v – stężenie objętościowe alkoholu w napoju (v/v) [%],

d – gęstość alkoholu [g/ml].

Obliczone w ten sposób maksymalne stężenie alkoholu we krwi odnosi się do sytuacji, w której spożyty alkohol został całkowicie wchłonięty do krwiobiegu zanim nastąpiła jakakolwiek jego eliminacja, a zatem do przypadku najbardziej zbliżonego podaniu etanolu dożylnie. W praktyce alkohol najczęściej przyjmowany jest doustnie w formie napojów alkoholowych, a jego wchłanianie z przewodu pokarmowego jest rozciągnięte w czasie. W konsekwencji część alkoholu ulega metabolizmowi zanim nastąpi szczyt stężenia tego związku we krwi. Dlatego też rzeczywista zawartość etanolu w organizmie jest z reguły niższa niż ta wyliczona ze wzoru Widmarka. Różnica ta nazywana jest deficytem alkoholowym.

W drugim etapie rachunku prospektywnego uwzględnia się, jeśli to konieczne, ilość alkoholu, która uległa metabolizmowi do momentu zdarzenia i odejmuje się ją od maksymalnego teoretycznego stężenia alkoholu (w przypadku określania zawartości etanolu w chwili zdarzenia). Natomiast jeśli przeprowadzana jest weryfikacja scenariusza konsumpcji alkoholu, bierze się pod uwagę alkohol, który uległ eliminacji do czasu badań stanu trzeźwości i porównuje się wyniki obliczeń z wynikami badań próbek krwi lub powietrza wydychanego.

Zastrzeżenia stron postępowania w przypadku zastosowania rachunku prospektywnego mogą dotyczyć dokładności takich obliczeń z uwagi na ich teoretyczny charakter nieodnoszący się bezpośrednio do rzeczywistych warunków konsumpcji, a przede wszystkim właściwości organizmu osoby, której obliczenia dotyczą.

Z jednej strony na niepewność wyniku obliczeń prospektywnych mają wpływ dane wprowadzane do wzoru Widmarka – przede wszystkim niepewność dotycząca ilości spożytego alkoholu, ale także zawartości etanolu w napoju alkoholowym oraz dane dotyczące budowy ciała osoby badanej, tj. wzrost oraz masa ciała (dokładność tych danych zależy w głównej mierze od podejrzanego).

Z drugiej strony, jak wynika z sytuacji spotykanych na salach sądowych, duży wpływ na wynik rachunku prospektywnego oraz wnioski wynikające z obliczeń ma niejednakowe podejście biegłych sądowych do sposobu liczenia. Różnice dotyczą np. uwzględniania współczynników rozmieszczenia alkoholu, które mogą być obliczane według rozmaitych metod. Najpopularniejsze metody to: metoda Forresta (1986); Watsona (Watson, Watson, Batt, 1981); Seidla, Jensena i Alta (2000) oraz Ulricha, Cramera i Zinka (1987). Wszystkie metody obliczeń tych współczynników uwzględniają płeć, masę ciała oraz wzrost osoby badanej, natomiast do obliczenia współczynnika rozmieszczenia alkoholu według Watsona brany jest pod uwagę dodatkowo wiek osoby badanej.

Jeśli obliczenia prospektywne nie dotyczą osoby, której indeks masy ciała (*body mass index*) przyjmuje skrajne wartości, to użycie różnych współczynników rozmieszczenia alkoholu w obliczeniach prospektywnych nie ma znaczącego wpływu na wynik maksymalnego teoretycznego stężenia alkoholu w organizmie. Natomiast z doświadczenia autorów wynika, że bardziej istotnym aspektem wpływającym na wnioskowanie oparte na rachunku prospektywnym ma uwzględnienie różnego czasu wchłaniania alkoholu do organizmu, a także deficytu alkoholowego. W starszej metodyce obliczeń zakładano na przykład, że proces metabolizmu rozpoczyna się dopiero po wchłonięciu całej dawki alkoholu, co, należy podkreślić, w rzeczywistości nie ma miejsca (Zuba, 2017). To podejście przekładało się na sposób obliczeń prospektywnych, tj. po obliczeniu maksymalnego teoretycznego stężenia alkoholu w organizmie brano pod uwagę czas potrzebny na wchłonięcie alkoholu i dopiero od zakończenia wchłaniania uwzględniano eliminację tego związku. Ten model obliczeń jest nadal stosowany przez niektórych biegłych, a w spotykanych do tej pory rachunkach prospektywnych zaobserwowano przyjmowanie czasu wchłaniania alkoholu w zakresie 30–90 minut. W opiniach dotyczących ustalenia stanu trzeźwości można również spotkać się z jeszcze innym podejściem odnośnie do czasu rozpoczęcia eliminacji alkoholu, tj. od momentu zakończenia konsumpcji alkoholu. Różnice w opiniowaniu dotyczą także uwzględniania bądź niebrania pod uwagę deficytu alkoholowego.

W praktyce Instytutu Ekspertyz Sądowych w przypadku wykonywania rachunku prospektywnego stosuje się podejście uznające, że eliminacja alkoholu z organizmu następuje już od momentu rozpoczęcia konsumpcji. Jest to uzasadnione faktem przejścia wchłoniętych porcji alkoholu przez wątrobę zanim zostanie on rozprowadzony do pozostałych narządów organizmu – tzw. efektem pierwszego przejścia (Jones, 2019). Podejście takie nie wymaga uwzględniania deficytu alkoholowego w rachunku prospektywnym.

Z uwagi na przedstawione różnice w sposobie opiniowania w sprawach o ustalenie stanu trzeźwości celem artykułu jest wskazanie właściwego sposobu przeprowadzania obliczeń prospektywnych w oparciu o porównanie najczęściej spotykanych metod obliczeniowych stosowanych przez różnych biegłych. Rozważono kilka wariantów wykonywania rachunku prospektywnego:

- eliminacja liczona od momentu rozpoczęcia konsumpcji, bez uwzględniania deficytu alkoholowego (metoda stosowana przez biegłych IES);
- eliminacja liczona od zakończenia fazy wchłaniania alkoholu, bez uwzględniania deficytu alkoholowego;
- eliminacja liczona od zakończenia fazy wchłaniania alkoholu, z uwzględnieniem deficytu alkoholowego.

2. Materiały i metody

Analizie poddano przypadki konsumpcji alkoholu opracowane przez Sadlera i Foxa (2011) oraz wykreślone dla nich krzywe alkoholowe. Badania Sadlera i Foxa (2011) dotyczyły 16 osób (8 kobiet i 8 mężczyzn), które spożywały drinki o 15% zawartości alkoholu w ilości odpowiadającej 0,67 ml etanolu na kg masy ciała dla mężczyzn oraz 0,56 ml etanolu na kg masy ciała dla kobiet. W niniejszej pracy analizowano wyniki dla konsumpcji na czczo oraz po posiłku.

Obserwowano, jakie maksymalne stężenia alkoholu uzyskały badane osoby (c_{\max}), w jakim czasie (T_{\max}) oraz jak wyglądały stężenia alkoholu w ich organizmie po upływie 60 i 120 minut od rozpoczęcia spożywania alkoholu. Rzeczywiste wartości odczytane z krzywych alkoholowych porównano z wynikami obliczeń przeprowadzonych trzema metodami:

- eliminacja liczona od momentu rozpoczęcia konsumpcji, bez uwzględniania deficytu alkoholowego (metoda stosowana przez biegłych IES – metoda 1);
- eliminacja liczona od zakończenia fazy wchłaniania alkoholu (trwającej 30, 60 lub 90 minut), bez uwzględniania deficytu alkoholowego (metoda 2a, 2b, 2c);
- eliminacja liczona od zakończenia fazy wchłaniania alkoholu (trwającej 30, 60 lub 90 minut), z uwzględnieniem deficytu alkoholowego na poziomie 10% (metoda 3a, 3b, 3c).

W obliczeniach przyjęto szybkość eliminacji alkoholu w zakresie 0,1–0,2 %/h.

3. Wyniki i dyskusja

W opiniowaniu opartym na rachunku prospektywnym kwestią problematyczną wydaje się uwzględnianie różnego czasu wchłaniania alkoholu do organizmu, a także deficytu alkoholowego. Wchłanianie alkoholu do organizmu jest procesem bardzo zmiennym i zależnym od wielu czynników. Szybkość uzyskania maksymalnego stężenia w organizmie zależy m.in. od rodzaju spożywanego alkoholu: objętości płynu czy dawki (Mitchell, Teigen, Ramchandani, 2014) oraz czasu jego konsumpcji. Zależy również od tego, czy był spożywany na czczo, przy posiłku (Sadler, Fox, 2011) lub po posiłku (Fraser, Rosalki, Gamble, Pounder, 1995). W tabeli 1 zebrano rzeczywiste czasy wchłaniania alkoholu zależne od wymienionych parametrów, obserwowane przez różnych naukowców.

Skrajne różnice w czasie wchłaniania alkoholu do organizmu w danej grupie badanej przedstawiają wyniki prezentowane przez Dubowskiego (1976a, 1976b, 1985), wskazujące przedziały czasu absorpcji alkoholu w zakresie: 14–138 minut (w grupie badanych kobiet i mężczyzn ze średnim czasem wchłaniania wynoszącym odpowiednio: 42 i 57 minut); 9–114 minut (w grupie 79 badanych

osób przyjmujących 0,5 g alkoholu na kg masy ciała, ze średnim czasem wchłaniania wynoszącym 29 minut) oraz 12–166 minut (w grupie 79 badanych osób przyjmujących 1,0 g alkoholu na kg masy ciała, ze średnim czasem wchłaniania wynoszącym 52 minuty).

Podobną analizę parametrów związanych z procesem absorpcji alkoholu przeprowadzili Norberg, Jones, Hahn i Gabrielsson (2003). Na jej podstawie można stwierdzić, że średnie czasy wchłaniania alkoholu mieszczą się w zakresie 23–68 minut w zależności od rodzaju konsumpcji i badanej grupy osób. Większość zgromadzonych wyników wskazuje, że wchłonięcie alkoholu następuje szybciej w przypadku spożycia alkoholu na czczo niż w przypadku konsumpcji po posiłku, aczkolwiek zdarzają się sytuacje, kiedy czasy te są zbliżone. Ponadto porównano czasy wchłaniania alkoholu dla mężczyzn i kobiet, a także w przypadku konsumpcji rano i wieczorem. Dla obu rozpatrywanych wariantów średnie wartości czasów wchłaniania były zbliżone.

Jak wynika z przedstawionych danych czas wchłaniania alkoholu do organizmu mieści się w bardzo szerokim zakresie (właściwie od kilku minut do prawie 3 godzin). Duża rozpiętość czasu wchłaniania obserwowana jest w przypadku różnych scenariuszy konsumpcji alkoholu (rodzaj alkoholu, czas konsumpcji, spożywany posiłek), ale także w sytuacji takiej samej wersji spożycia alkoholu, co potwierdzają wysokie wartości odchylenia standardowego w danej grupie badawczej i co wskazuje na dużą zmienność międzyosobniczą tego procesu.

Duża rozpiętość czasu wchłaniania alkoholu do organizmu przekłada się na różną wartość deficytu alkoholowego. Rzeczywiste maksymalne stężenie etanolu, jakie może wystąpić w organizmie po spożyciu tej samej dawki alkoholu, zależne jest od zawartości etanolu w spożywanym napoju, szybkości konsumpcji oraz tego, czy wraz z alkoholem spożywany jest posiłek. Na podstawie badań przeprowadzonych przez Sadlera i Foa (2011) stwierdzić można, że w przypadku spożywania alkoholu na czczo średni deficyt alkoholowy dla trunków o stężeniu około 20% obj. wynosił około 10%, natomiast dla konsumpcji po posiłku około 30%. Badania Mitchella i współpracowników (2014) wykazały natomiast, że w przypadku konsumpcji piwa (5,1% obj.), wina (12,5% obj.) i drinków (20% obj.) w ilości prowadzącej do stężenia 0,8‰ alkoholu w organizmie średni deficyt alkoholowy wyniósł odpowiednio dla wymienionych trunków: około 40%, 15% i 8%. Z kolei na podstawie przeprowadzonych kalkulacji przyjęto w Instytucie, że deficyt alkoholowy w zależności od rodzaju spożytego alkoholu i szybkości konsumpcji może wynosić od 10% (dla szybkiej konsumpcji wódki) nawet do 30% (dla powolnej konsumpcji piwa).

Z przedstawionych powyżej danych wynika, że bardzo trudno sprecyzować czas wchłaniania alkoholu do organizmu, który byłby uwzględniany w rachunku

prospektywnym. Podobne trudności może nastęrczać określenie poziomu deficytu alkoholowego. Bardzo często w rozpatrywanych sprawach o ustalenie stanu trzeźwości nie ma dokładnych informacji odnośnie do przebiegu konsumpcji alkoholu (szczególnie dokładnego czasu trwania konsumpcji alkoholu czy informacji o spożywanych posiłkach). Z drugiej strony nawet gdyby takie dane były dostępne, wnioskowanie na temat konkretnego czasu wchłaniania alkoholu czy wysokości deficytu alkoholowego z uwagi na dużą rozbieżność międzyosobniczą tych parametrów jest praktycznie niemożliwe i opierałoby się jedynie na pewnych założeniach. Dlatego też przeprowadzono analizę wyników obliczeń prospektywnych wykonanych kilkoma sposobami i porównano je z wynikami rzeczywistych stężeń alkoholu w organizmie badanych osób (8 kobiet i 8 mężczyzn). Wyniki przeprowadzonych obliczeń dla analizowanych przypadków przedstawiono w tabeli 2.

Analizując dane zebrane w tabeli 2, można zaobserwować, że rzeczywisty czas do wystąpienia maksymalnego stężenia alkoholu (T_{\max}) dla badanych osób wynosił średnio 52 minuty (w zakresie 35–110 minut), w tym dla mężczyzn – średnio 52 minuty (w zakresie 35–110 minut), a dla kobiet – średnio 52 minuty (w zakresie 37–80 minut). Czas ten w przypadku konsumpcji na czczo wynosił średnio 66 minut dla mężczyzn i 60 minut dla kobiet, natomiast w przypadku konsumpcji po posiłku wynosił średnio 39 minut dla mężczyzn i 44 minuty dla kobiet. Z kolei porównując rzeczywiste maksymalne stężenia alkoholu osiągnięte przez badane osoby z wartościami teoretycznymi, można zauważyć, że wartości doświadczalne były przeważnie niższe niż wartości teoretyczne. Obliczono, że różniły się one średnio o 25% (w zakresie 0–60%). W przypadku konsumpcji na czczo różnica między stężeniami teoretycznymi a rzeczywistymi wynosiła 14% (w zakresie 0–29%), a w przypadku konsumpcji po posiłku wynosiła 36% (w zakresie 9–60%). Dla dwóch przypadków (jednej kobiety i jednego mężczyzny) zaobserwowano wyższe rzeczywiste maksymalne stężenia alkoholu niż wartości teoretyczne (o 21% i 26%).

W trakcie analizy danych zwrócono szczególną uwagę na porównanie wartości rzeczywistego stężenia alkoholu osiąganego przez badane osoby po upływie 60 i 120 minut od momentu rozpoczęcia konsumpcji z teoretycznymi wynikami obliczeń wykonanymi na ten sam czas. Należy zauważyć, że w przypadku uwzględniania czasu wchłaniania alkoholu wynoszącego 1,5 godziny wyliczone stężenie alkoholu w 60 minucie podawano jako wartość mniejszą od maksymalnego teoretycznego stężenia alkoholu, ponieważ w przypadku założenia takiego wariantu w tym czasie trwałaby jeszcze faza wchłaniania alkoholu. Dla ułatwienia analizowania danych zebranych w tabeli 2 pogrubiono wartości rzeczywistych stężeń alkoholu osiągniętych przez badane osoby po upływie

60 i 120 minut od momentu rozpoczęcia konsumpcji oraz wartości teoretycznych stężeń obliczonych różnymi metodami, które korelowały z wartościami doświadczalnymi (przy zastosowaniu zaokrąglenia do pierwszego miejsca po przecinku dla obliczanych stężeń).

W celu porównania wyników obliczeń z rzeczywistymi stężeniami obliczono bezwzględny błąd obliczeń prospektywnych wyrażony przez różnicę między średnią z oszacowanych zakresów a wartością doświadczalną stężenia alkoholu. Oszacowane wartości błędów pogrupowano w zakresy: 0,00–0,10%, 0,11–0,20%, 0,21–0,30%, 0,31–0,40% i 0,41–0,50%. Następnie dla każdej metody obliczeń prospektywnych policzono liczbę przypadków, dla których bezwzględny błąd mieścił się w podanych wyżej zakresach. Obliczono również, jaki dana liczba przypadków stanowiła procent ze wszystkich wyników w obrębie danej metody obliczeń prospektywnych. Zebrane dane przedstawiono w tabeli 3 oraz na ryc. 1. Takie same obliczenia przeprowadzono osobno dla wyników w przypadku konsumpcji na czczo oraz po posiłku. Otrzymane dane zebrano na ryc. 2 i 3.

Analiza wyników wskazuje, że najwięcej przypadków, dla których bezwzględny błąd obliczeń prospektywnych był najniższy, zaobserwowano dla metod:

- eliminacji liczonej od momentu rozpoczęcia konsumpcji, bez uwzględniania deficytu alkoholowego (metoda stosowana przez biegłych IES – metoda 1);
- eliminacji liczonej od zakończenia fazy wchłaniania alkoholu trwającej 30 minut, z uwzględnieniem deficytu alkoholowego na poziomie 10% – metoda 3a.

Błąd bezwzględny dla wszystkich przypadków w obrębie tych metod mieścił się w zakresie 0,00–0,30%, w tym około połowę stanowiły wyniki z błędem do 0,10%.

Gorszą korelację między wynikami obliczeń a rzeczywistymi stężeniami alkoholu uzyskano dla metod:

- eliminacji liczonej od zakończenia fazy wchłaniania alkoholu trwającej 30 minut – metoda 2a,
- eliminacji liczonej od zakończenia fazy wchłaniania alkoholu trwającej 60 minut – metoda 2b,
- eliminacji liczonej od zakończenia fazy wchłaniania alkoholu trwającej 60 minut, z uwzględnieniem deficytu alkoholowego na poziomie 10% – metoda 3b.

Dla podanych trzech metod błąd bezwzględny mieszczący się w zakresie 0,00–0,30% występował w odpowiednio: 86%, 63% i 86% przypadków.

Dla pozostałych dwóch metod:

- eliminacji liczonej od zakończenia fazy wchłaniania alkoholu trwającej 90 minut – metoda 2c,
- eliminacji liczonej od zakończenia fazy wchłaniania alkoholu trwającej 90 minut, z uwzględnieniem deficytu alkoholowego na poziomie 10% – metoda 3c,

uzyskano najniższą korelację wyników obliczeń prospektywnych z wartościami doświadczalnymi stężeń etanolu. Dla podanych dwóch metod błąd bezwzględny

mieszczący się w zakresie 0,00–0,30% występował w odpowiednio: 25% i 36% przypadków.

Ponadto dla 50% przypadków, z uwagi na przyjęcie czasu wchłaniania 90 minut, nie uzyskano wyników obliczeń prospektywnych, które można byłoby porównać z rzeczywistymi wartościami stężeń etanolu, ponieważ zgodnie z tymi metodami 60 minut po rozpoczęciu konsumpcji (pierwszy czas, dla którego wykonywano obliczenia, Tabela 2) alkohol nadal wchłaniał się do organizmu.

Analiza uzyskanych wyników z podziałem na konsumpcję na czczo i po posiłku wskazuje, że metody obliczeń 1 i 3a są najlepsze niezależnie od rodzaju konsumpcji, natomiast metody 2a, 2b i 3b lepiej sprawdzają się w przypadku konsumpcji na czczo w porównaniu do konsumpcji po posiłku. Najniższą korelację uzyskano dla metod 2c i 3c (Ryc. 2 i 3).

4. Podsumowanie i wnioski

Z praktyki eksperckiej wynika, że w sprawach o ustalenie stanu trzeźwości stosowane są przez biegłych różne metody obliczeń prospektywnych prowadzące niekiedy do odmiennych wniosków. W opiniach można również spotkać się z różnym podejściem odnośnie do czasu rozpoczęcia eliminacji alkoholu, a także uwzględniania bądź niebrania pod uwagę deficytu alkoholowego. Jak wynika z analizy publikacji dotyczących absorpcji alkoholu, czas wchłaniania alkoholu do organizmu mieści się w bardzo szerokim zakresie (właściwie od kilku minut do prawie 3 godzin). Duża rozpiętość czasu wchłaniania alkoholu przekłada się na różną wartość deficytu alkoholowego. Dlatego też zastosowanie w rachunku prospektywnym konkretnego czasu wchłaniania alkoholu czy wysokości deficytu alkoholowego, z uwagi na dużą rozbieżność międzyosobniczą tych parametrów, jest praktycznie niemożliwe i opierałoby się jedynie na pewnych założeniach.

W Instytucie Ekspertyz Sądowych w przypadku wykonywania rachunku prospektywnego stosuje się podejście zakładające, że eliminacja alkoholu z organizmu następuje już od momentu rozpoczęcia konsumpcji. Podejście takie nie wymaga uwzględniania deficytu alkoholowego.

Z uwagi na różnice w sposobie opiniowania w sprawach o ustalenie stanu trzeźwości porównano najczęściej spotykane sposoby obliczeń prospektywnych stosowanych przez różnych biegłych. Rozważono kilka wariantów wykonywania rachunku prospektywnego:

- eliminacja liczona od momentu rozpoczęcia konsumpcji, bez uwzględniania deficytu alkoholowego (metoda stosowana przez biegłych IES – metoda 1);
- eliminacja liczona od zakończenia fazy wchłaniania alkoholu (trwającej 30, 60 lub 90 minut), bez uwzględniania deficytu alkoholowego (metoda 2a, 2b, 2c);

- eliminacja liczona od zakończenia fazy wchłaniania alkoholu (trwającej 30, 60 lub 90 minut), z uwzględnieniem deficytu alkoholowego na poziomie 10% (metoda 3a, 3b, 3c).

Analiza uzyskanych wyników obliczeń pozwala na stwierdzenie, że najlepszą korelację uzyskano dla metody 1 (stosowanej w IES) oraz metody 3a zakładającej czas wchłaniania 30 minut i 10% deficyt alkoholowy. Błędy bezwzględne dla obu metod były porównywalne, a zatem wydaje się bardziej praktyczne stosowanie metody 1 z uwagi na brak konieczności wykonywania dodatkowych obliczeń związanych z uwzględnianiem czasu wchłaniania i deficytu alkoholowego. Najśłabszą korelację uzyskano natomiast dla metod 2c i 3c, uwzględniających czas wchłaniania 90 minut i ewentualnie 10% deficyt alkoholowy.

Przeprowadzone porównanie wyników obliczeń z wartościami doświadczalnymi stężeń alkoholu uzyskanymi przez osoby badane wykazało jednoznacznie, że właściwym modelem rachunku prospektywnego, najdokładniej odzwierciedlającym rzeczywistość zawartość alkoholu w organizmie jest sposób liczenia uwzględniający fakt, że eliminacja alkoholu z organizmu następuje już od momentu rozpoczęcia konsumpcji.