



A COMPARISON OF PROSPECTIVE CALCULATIONS WITH EXPERIMENTAL ALCOHOL CURVES

Dominika JAMA , Karolina SEKUŁA , Dariusz ZUBA 

Institute of Forensic Research, Kraków, Poland

Abstract

In cases requiring determination of the ethanol content of a person involved in a road incident, expert opinions are often based on prospective calculations. Declarations regarding the amount and type of alcoholic drink consumed are used to calculate the concentration of alcohol in the body and to correlate the results obtained with those of sobriety tests. Alcohol concentration estimated using a prospective calculation should correspond most accurately with the ethanol content in the body. It is therefore desirable to identify the appropriate model of prospective estimation, which is accomplished here by comparing the most common methods of alcohol calculation used by forensic experts. The study involved five people aged 29–64 (two women and three men) who were given alcohol in an amount leading to a theoretical ethanol concentration of 1‰ in their bodies. In this paper, we plotted the alcohol curves and compared the experimental (real) ethanol concentration with the theoretical values calculated by the various methods. The best correlation between the results of prospective calculations and real ethanol concentrations was obtained for the method that assumes an immediate elimination from the beginning of consumption (used routinely by the authors) and for the method that assumes an absorption time of 30 minutes and a 10% alcohol deficit (the difference between the theoretical and actual ethanol concentration).

Keywords

Alcohol; Prospective calculations; Alcohol curve; Absorption; Elimination.

Received 16 December 2021; accepted 16 February 2022

1. Introduction

Expert forensic opinions regarding road incidents involving people under the influence of alcohol are very often compiled based on prospective calculations. This happens most often in cases where the person tested, and in whose body ethanol has been detected after leaving the scene of the incident, states that she/he consumed the alcohol after finishing driving the vehicle. If so, declarations as to the quantity and type of alcoholic beverage consumed are used to calculate the concentration of alcohol in the blood. The obtained results are then correlated with the results of the sobriety tests. It has been demonstrated that the correspondence between the results of a prospective calculation and the actual alcohol concentrations depends on the

phase of alcohol metabolism the person tested was in during measurement of exhaled air or when blood samples were taken (Sekuła, Jama, Zuba, 2020).

The metabolism of ethanol in human body proceeds in three stages: absorption, distribution, and elimination. It should be noted that those processes occur in parallel, yet in the initial phase of metabolism the rate of alcohol absorption exceeds the elimination rate, while in the final phase – the elimination process is dominant. The phases of metabolism can be represented graphically in the form of what is known as an alcohol curve, which shows the relationship of alcohol concentration to time elapsed since consumption of an alcoholic beverage began. The model alcohol curve was formulated based on hundreds of studies conducted over many years involving healthy men and women

who consumed alcohol in the form of beer, wine, or spirits – either while fasting or after a meal (Jones, 2011). Fig. 1 provides a model example of an alcohol curve.

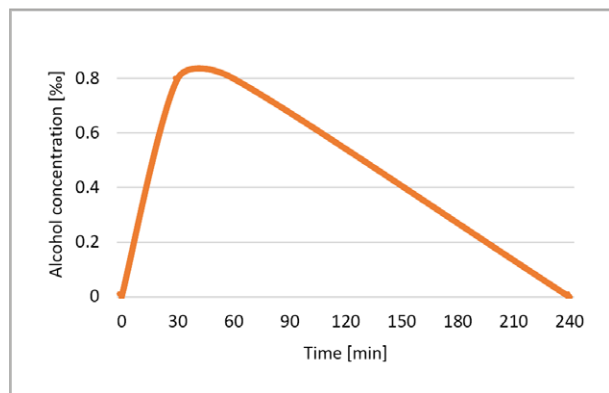


Figure 1. Theoretical alcohol curve.

In reality, an alcohol curve can take various shapes, which sometimes differ significantly from the model course – thus indicating a considerable variability both within and between individuals. The shape of a real alcohol curve depends largely on the factors influencing the process of absorption of alcohol into the body, that is, on the type of alcohol consumed, the volume of the beverage and dose, the time (duration) of its consumption, whether it is consumed while fasting, with a meal, or after a meal and, finally, on the size and type of meal (Sekula et al., 2020). It should be noted that consuming alcohol while fasting causes the maximum alcohol concentration in the body to be considerably higher than when it is consumed after a meal. In such cases, the shape of the alcohol curve is closer to that of the theoretical model (Fig. 2). When alcohol

is consumed on a full stomach, the alcohol curve is usually flattened (Fig. 2) due to the prolonged process of absorption into the bloodstream, which is caused by the reduced bioavailability of the alcohol (Jones, Jonsson, Kechagias, 1997). There is a similar relationship when alcohol is consumed rapidly and when it is consumed over an extended period of time. The rapid introduction of a dose of ethanol to the body usually makes it possible to achieve a maximum concentration that is far higher than if the same quantity of ethanol is consumed slowly, which is mainly due to the fact that the metabolic processes run in parallel with absorption. Where large quantities of alcohol are consumed over extended time periods, the rate of increase of alcohol concentration in the body depends on the frequency with which further doses of alcohol are consumed and also on the quantity of ethanol in the beverage. During drinking, alcohol concentration rises constantly because the rate of absorption is greater than that of distribution and elimination. Each extended period without consuming alcohol allows more time for the absorption of the ethanol already consumed, which means that the alcohol curve tends to flatten out before the next dose of alcohol (Jones, Wigmore, House, 2006). Furthermore, the shape of an alcohol curve also depends on the psychophysical condition of the person consuming the alcohol. At different times, metabolism of the same dose of ethanol under the same external conditions (time of day, volume of liquid, time when meal consumed, and type of meal consumed) can occur differently in the same person (intra-individual variability). The shapes of alcohol curves vary even more when alcohol is consumed in the same quantity and under the same conditions by different people (inter-individual variability; Fraser, Rosalki, Gamble, Pounder, 1995).

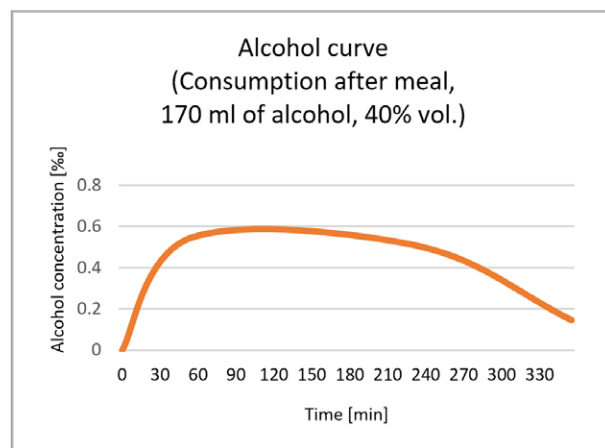
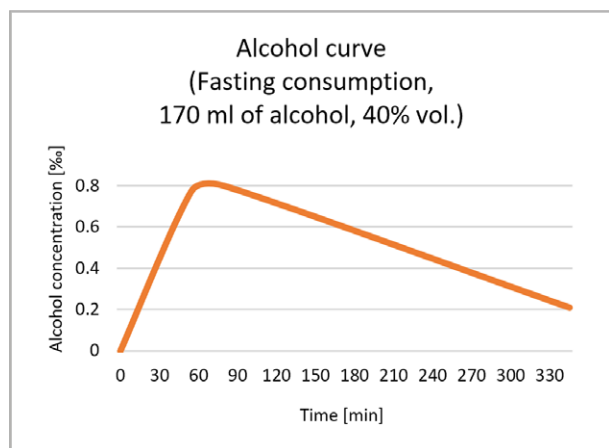


Figure 2. Alcohol curve for fasting consumption and consumption after a meal.

To check the correlation between the results of the prospective calculations and the results of sobriety measurements, tests were carried out by drawing actual alcohol curves after consumption of a known dose of ethanol and comparing them with calculations of theoretical alcohol concentrations. This article represents a continuation of comparison of the most common models of prospective calculations used by forensic experts. As in our previous paper (Sekula *et al.*, 2020) the following ways of performing prospective calculations were considered:

1. elimination calculated from the start of alcohol consumption, without considering the alcohol deficit (the method used by the experts at the Institute of Forensic Research in Kraków);
2. elimination calculated from the end of the alcohol absorption phase without considering the alcohol deficit;
3. elimination calculated from the end of the alcohol absorption phase with taking the alcohol deficit into account.

2. Materials and methods

Five people (aged 29–64; two men and three women), who were given alcohol in the form of beer, wine, or vodka in a quantity leading to a theoretical ethanol concentration of 1‰ in their bodies, were tested. The alcohol was consumed while fasting by all participants in the study (in the case of one of the women, testing was carried out twice at intervals of several months because her body weight changed in that time) and after a meal by two of the women and two of the men (the meal consisted of a high-carbohydrate and high-fat dish containing approximately 500–600 kcal). Following alcohol consumption, measurements were made using a Dräger Alcotest 7510 breath alcohol analyser at five-minute intervals. Alcohol curves were plotted based on the results obtained (Fig. 3, 4). The maximum alcohol concentrations (c_{\max}) and the time (t_{\max}) in which they were reached by the participants were recorded, as were the alcohol concentrations in their bodies after 60, 120, 180, and 240 minutes since the beginning of the alcohol consumption. The actual values were compared with the results of prospective calculations performed according to three methods:

1. elimination calculated from the start of alcohol consumption without considering the alcohol deficit (the method used by the experts at the Institute of Forensic Research in Kraków: method 1);
2. elimination calculated from the end of the alcohol absorption phase (lasting 30, 60 or 90 minutes)

with considering the alcohol deficit (methods 2a, 2b, 2c);

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

In the calculations, the alcohol distribution factor was determined by the Forrest method (1986) and a rate of alcohol elimination in the range of 0.1–0.2‰ per hour was assumed. Table 1 compares the actual concentrations with the theoretical values.

3. Results and discussion

The maximum alcohol concentrations for the tested people were achieved in an average time of $t_{\max} = 67$ minutes (in a range of 3–100 minutes). No differences between the sexes were found: the average t_{\max} for men was 68 minutes (in a range of 35–95 minutes) and 66 minutes for women (in a range of 50–100 minutes).

For fasting consumption, t_{\max} was:

- 80 minutes for a man and an average of 52 minutes (in a range of 50–55 minutes) for a woman tested twice, both consuming vodka,
- 50 minutes for a woman consuming wine,
- an average of 65 minutes (in a range of 55–75 minutes) for two men consuming beer.

In the case of consumption after a meal, t_{\max} was:

- 95 minutes for a man and 70 minutes for a woman, both consuming vodka,
- 100 minutes for a woman consuming wine,
- 35 minutes for a man consuming beer.

It was established by comparing the maximum alcohol concentrations reached by the people tested that the majority of the experimental (real) values were lower than the theoretical values. It was calculated that they differed on average by 31% (in the range 0–64%). The difference between the theoretical and real concentrations was on average 22% (in the range 0–37%) in the case of fasting consumption and on average 44% (in the range 26–64%) in the case of consumption after a meal. In a single case (of fasting consumption of wine), the person tested achieved a maximum alcohol content corresponding exactly to the estimated, theoretical concentration.

The data were analysed by comparing the actual alcohol concentration values reached by the participants 60, 120, 180 and 240 minutes after the beginning of consumption with the results of theoretical calculations. For the calculation variant assuming an alcohol absorption time of 1.5 hours, the alcohol concentration calculated at 60 minutes is given as a value lower

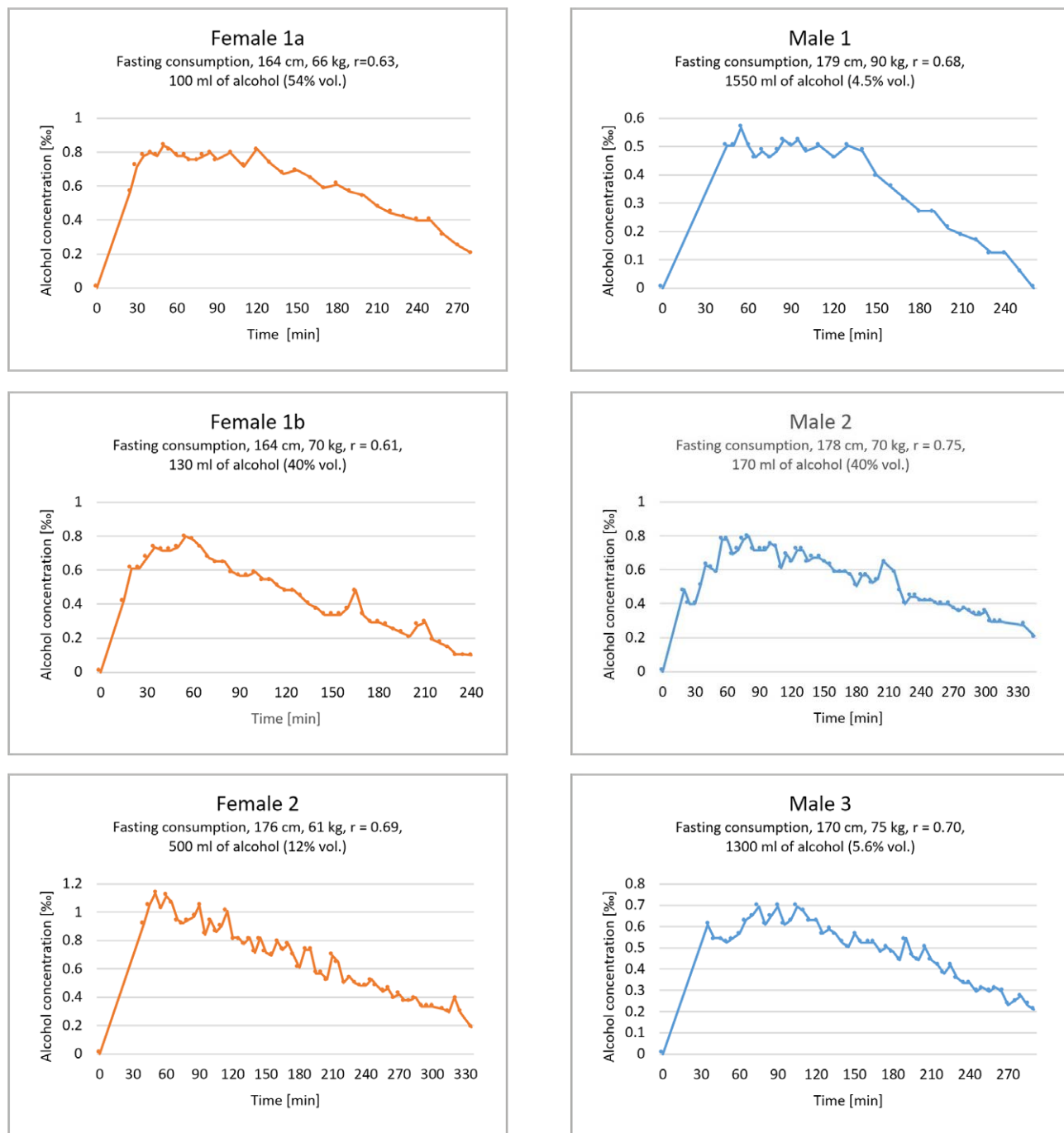


Figure 3. Alcohol curves for fasting consumption.

than the maximum theoretical alcohol concentration because the alcohol absorption phase was still in progress at that time. The actual alcohol concentration values reached by the people studied and the theoretical concentrations obtained by the various methods that correlate with the experimental values (rounded to the first decimal point for the concentrations calculated) are given in bold in Table 1.

The results of the prospective calculations were compared with the experimental concentration values by calculating the absolute error of the prospective calculations, that is, the difference between the mean of the estimated ranges and the experimental value of the alcohol concentration. The estimated error values were grouped in the ranges: 0.00–0.10‰, 0.11–0.20‰, 0.21–0.30‰, 0.31–0.40‰, 0.41–0.50‰, and



Figure 4. Alcohol curves for consumption after a meal.

>0.50%. Table 2 gives the number of cases in which the absolute error fell within the above ranges for each method of prospective calculation and also expresses this number as a percentage of all of the results produced by the relevant method of prospective calculation. These data are also displayed in graphical form in Fig. 5. Furthermore, Fig. 6 and 7 show comparisons of the calculation methods according – respectively – to whether consumption occurred while fasting or after a meal.

The analysis of the results showed that the best correlation between the calculation results and the actual alcohol concentrations was obtained for the following methods:

- 1: elimination calculated from the start of alcohol consumption without considering the alcohol deficit – the method applied by the experts at the Institute of Forensic Research,
- 3a: elimination calculated from the end of an alcohol absorption phase of 30 minutes with taking the alcohol deficit at a level of 10% into account.

For 72.5% of cases across these two methods, the absolute error fell within the range 0.00–0.30‰, of which results with an error up to 0.10‰ constituted 35% of all results.

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

- 2a: elimination calculated from the end of an alcohol absorption phase lasting 30 minutes (an absolute error falling within the range 0.00–0.30‰ occurred in 62.5% of the cases),
- 2b: elimination calculated from the end of an alcohol absorption phase lasting 60 minutes (an absolute error falling within the range 0.00–0.30‰ occurred in 47.5% of the cases),
- 3b: elimination calculated from the end of an alcohol absorption phase lasting 60 minutes taking the alcohol deficit at a level of 10% into account (an absolute error falling within the range 0.00–0.30‰ occurred in 65% of the cases).

Table 1
Comparison of real ethanol concentrations with the results of prospective calculations performed using the various methods

Participants and (alcohol) consumption scenario	Data	T _{max} [min]	Alcohol conc.	Exp.	Estimated by the IFR method <i>Method 1</i>	Alcohol concentration						
						Estimated with different absorption times		Estimated with 10% deficit and different absorption times		Estimated with 10% deficit and different absorption times		
						0.5h	1h	1.5h	0.5h	1h	1.5h	0.5h
					<i>Method 2a</i>	<i>Method 2b</i>	<i>Method 2c</i>	<i>Method 3a</i>	<i>Method 3b</i>	<i>Method 3c</i>		
Female 1a Fasting consumption	164 cm 66 kg r = 0.63 100 ml of alcohol (54% vol.)	50	c _{max}	0.84	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	0.92	0.92	0.92
			c _{60'}	0.78	0.82-0.92	0.92-0.97	1.02	<1.02	0.82-0.87	0.92	0.92	<0.92
			c _{120'}	0.82	0.62-0.82	0.72-0.87	0.82-0.92	0.92-0.97	0.62-0.77	0.72-0.82	0.62-0.77	0.82-0.87
			c _{180'}	0.61	0.42-0.72	0.52-0.77	0.62-0.82	0.72-0.87	0.42-0.67	0.52-0.72	0.42-0.67	0.62-0.77
			c _{240'}	0.40	0.22-0.62	0.32-0.67	0.42-0.72	0.52-0.77	0.22-0.57	0.32-0.62	0.42-0.67	0.42-0.67
Female 1b Fasting consumption	164 cm 70 kg r = 0.61 130 ml of alcohol (40% vol.)	55	c _{max}	0.80	0.96	0.96	0.96	0.96	0.86	0.86	0.86	
			c _{60'}	0.78	0.76-0.86	0.86-0.91	0.96	<0.96	0.76-0.81	0.86	0.86	<0.86
			c _{120'}	0.48	0.56-0.76	0.66-0.81	0.76-0.86	0.86-0.91	0.56-0.71	0.66-0.76	0.66-0.76	0.76-0.81
			c _{180'}	0.29	0.36-0.66	0.46-0.71	0.56-0.76	0.66-0.81	0.36-0.61	0.46-0.66	0.46-0.66	0.56-0.71
			c _{240'}	0.10	0.16-0.56	0.26-0.61	0.36-0.66	0.46-0.71	0.16-0.51	0.26-0.56	0.26-0.56	0.36-0.61
Female 2 Fasting consumption	176 cm 61 kg r = 0.69 500 ml of alcohol (12% vol.)	50	c _{max}	1.13	1.12	1.12	1.12	1.12	1.01	1.01	1.01	
			c _{60'}	1.11	0.92-1.02	1.02-1.07	1.12	<1.12	0.91-0.96	1.01	1.01	<1.01
			c _{120'}	0.82	0.72-0.92	0.82-0.97	0.92-1.02	1.02-1.07	0.71-0.86	0.81-0.91	0.91-0.96	0.91-0.96
			c _{180'}	0.61	0.52-0.82	0.62-0.87	0.72-0.92	0.82-0.97	0.51-0.76	0.61-0.81	0.71-0.86	0.71-0.86
			c _{240'}	0.48	0.32-0.72	0.42-0.77	0.52-0.82	0.62-0.87	0.31-0.66	0.41-0.71	0.51-0.76	0.51-0.76
Male 1 Fasting consumption	179 cm 90 kg r = 0.68 1550 ml of alcohol (4.5% vol.)	55	c _{max}	0.57	0.90	0.90	0.90	0.90	0.81	0.81	0.81	
			c _{60'}	0.50	0.70-0.80	0.80-0.85	0.90	<0.90	0.71-0.76	0.81	0.81	<0.81
			c _{120'}	0.46	0.50-0.70	0.60-0.75	0.70-0.80	0.80-0.85	0.51-0.66	0.61-0.71	0.71-0.76	
			c _{180'}	0.27	0.30-0.60	0.40-0.65	0.50-0.70	0.60-0.75	0.31-0.56	0.41-0.61	0.51-0.66	
			c _{240'}	0.13	0.10-0.50	0.20-0.55	0.30-0.60	0.40-0.65	0.11-0.46	0.21-0.51	0.31-0.56	
Male 2 Fasting consumption	178 cm 70 kg r = 0.75 170 ml of alcohol (40% vol.)	80	c _{max}	0.80	1.02	1.02	1.02	1.02	0.92	0.92	0.92	
			c _{60'}	0.78	0.82-0.92	0.92-0.97	1.02	<1.02	0.82-0.87	0.92	0.92	<0.92
			c _{120'}	0.65	0.62-0.82	0.72-0.87	0.82-0.92	0.92-0.97	0.62-0.77	0.72-0.82	0.82-0.87	
			c _{180'}	0.50	0.42-0.72	0.52-0.77	0.62-0.82	0.72-0.87	0.42-0.67	0.52-0.72	0.62-0.77	
			c _{240'}	0.42	0.22-0.62	0.32-0.67	0.42-0.72	0.52-0.77	0.22-0.57	0.32-0.62	0.42-0.67	
Male 3 Fasting consumption	170 cm 75 kg r = 0.70 1300 ml of alcohol (5.6% vol.)	75	c _{max}	0.69	1.09	1.09	1.09	1.09	0.98	0.98	0.98	
			c _{60'}	0.57	0.89-0.99	0.99-1.04	1.09	<1.09	0.88-0.93	0.98	0.98	<0.98
			c _{120'}	0.63	0.69-0.89	0.79-0.94	0.89-0.99	0.99-1.04	0.68-0.83	0.78-0.88	0.88-0.93	
			c _{180'}	0.48	0.49-0.79	0.59-0.84	0.69-0.89	0.79-0.94	0.48-0.73	0.58-0.78	0.68-0.83	
			c _{240'}	0.34	0.29-0.69	0.39-0.74	0.49-0.79	0.59-0.84	0.28-0.63	0.38-0.68	0.48-0.73	

Female 1b Consumption after a meal	164 cm	70	C_{max}	0.71	0.96	0.96	0.96	0.86	0.86	0.86	0.86
	70 kg		$C_{60'}$	0.69	0.86-0.91	0.86-0.86	0.86-0.91	0.76-0.81	0.86	0.86	<0.86
	$r = 0.61$		$C_{120'}$	0.48	0.66-0.81	0.56-0.76	0.76-0.86	0.56-0.71	0.66-0.76	0.66-0.76	0.76-0.81
	130 ml of alcohol (40% vol.)		$C_{180'}$	0.27	0.46-0.71	0.36-0.66	0.56-0.76	0.36-0.61	0.46-0.66	0.46-0.66	0.56-0.71
			$C_{240'}$	0.00	0.26-0.61	0.16-0.56	0.36-0.66	0.16-0.51	0.26-0.56	0.26-0.56	0.36-0.61
Female 2 Consumption after a meal	176 cm	100	C_{max}	0.40	1.12	1.12	1.12	1.01	1.01	1.01	1.01
	61 kg		$C_{60'}$	0.29	1.02-1.07	1.02-1.02	1.02-1.07	0.91-0.96	1.01	1.01	<1.01
	$r = 0.69$		$C_{120'}$	0.38	0.82-0.97	0.72-0.92	0.92-1.02	0.71-0.86	0.81-0.91	0.81-0.91	0.91-0.96
	500 ml of alcohol (12% vol.)		$C_{180'}$	0.25	0.62-0.87	0.52-0.82	0.72-0.92	0.51-0.76	0.61-0.81	0.61-0.81	0.71-0.86
			$C_{240'}$	0.17	0.42-0.77	0.32-0.72	0.52-0.82	0.31-0.66	0.41-0.71	0.41-0.71	0.51-0.76
Male 2 Consumption after a meal	178 cm	95	C_{max}	0.61	1.02	1.02	1.02	0.92	0.92	0.92	0.92
	70 kg		$C_{60'}$	0.48	0.92-0.97	0.82-0.92	1.02	0.82-0.87	0.92	0.92	<0.92
	$r = 0.75$		$C_{120'}$	0.46	0.72-0.87	0.62-0.82	0.82-0.92	0.62-0.77	0.72-0.82	0.72-0.82	0.82-0.87
	170 ml of alcohol (40% vol.)		$C_{180'}$	0.57	0.52-0.77	0.42-0.72	0.62-0.82	0.42-0.67	0.52-0.72	0.52-0.72	0.62-0.77
			$C_{240'}$	0.44	0.32-0.67	0.22-0.62	0.42-0.72	0.22-0.57	0.32-0.62	0.32-0.62	0.42-0.67
Male 3 Consumption after a meal	170 cm	35	C_{max}	0.59	1.09	1.09	1.09	0.98	0.98	0.98	0.98
	75 kg		$C_{60'}$	0.59	0.99-1.04	0.89-0.99	1.09	0.88-0.93	0.98	0.98	<0.98
	$r = 0.70$		$C_{120'}$	0.44	0.79-0.94	0.69-0.89	0.89-0.99	0.68-0.83	0.78-0.88	0.78-0.88	0.88-0.93
	1300 ml of alcohol (5.6% vol.)		$C_{180'}$	0.25	0.59-0.84	0.49-0.79	0.69-0.89	0.48-0.73	0.58-0.78	0.58-0.78	0.68-0.83
			$C_{240'}$	0.13	0.3-0.74	0.29-0.69	0.49-0.79	0.28-0.63	0.38-0.68	0.38-0.68	0.48-0.73

Table 2

Comparison of prospective calculation methods

The difference between the experimental and estimated value of alcohol concentration	Number of calculation results for IFR method	Number of calculation results for method with different absorption times			Number of calculation results for method with different 10% deficit and different absorption times		
		0.5 h	1 h	1.5 h	0.5 h	1 h	1.5 h
		Method 2a	Method 2b	Method 2c	Method 3a	Method 3b	Method 3c
0.00-0.10‰	14 (35%)	7 (17.5%)	2 (5%)	0 (0%)	14 (35%)	11 (27.5%)	2 (5%)
0.11-0.20‰	10 (25%)	12 (30%)	8 (20%)	2 (5%)	11 (27.5%)	9 (22.5%)	9 (22.5%)
0.21-0.30‰	5 (12.5%)	6 (15%)	9 (22.5%)	9 (22.5%)	4 (10%)	6 (15%)	4 (10%)
0.31-0.40‰	8 (20%)	9 (22.5%)	8 (20%)	5 (12.5%)	9 (22.5%)	7 (17.5%)	8 (20%)
0.41-0.50‰	2 (5%)	4 (10%)	7 (17.5%)	7 (17.5%)	1 (2.5%)	6 (15%)	4 (10%)
>0.50‰	1 (2.5%)	2 (5%)	6 (15%)	7 (17.5%)	1 (2.5%)	1 (2.5%)	3 (7.5%)
No results*	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	10 (25%)	0 (0%)	0 (0%)	10 (25%)

* no results for calculation method assuming 1.5 h absorption

The lowest correlation between prospective calculations and the experimental values for ethanol concentrations was obtained for the two remaining methods:

- 2c: elimination calculated from the end of an alcohol absorption phase lasting 90 minutes (an absolute error falling within the range 0.00–0.30‰ occurred in 27.5% of the cases),
- 3c: elimination calculated from the end of an alcohol absorption phase lasting 90 minutes with taking an alcohol deficit of 10% into account (an absolute error falling within the range 0.00–0.30‰ occurred in 37.5% of the cases).

Due to the assumption of an absorption time lasting 90 minutes, results of prospective calculations were not obtained for 25% of cases involving methods 2c and 3c. The assumption that alcohol is absorbed up to 90 minutes meant that calculations could not be made for 60 minutes after the beginning of alcohol consumption, as according to these methods alcohol was still being absorbed into the body at this time.

It was established as a result of the tests conducted by the authors that method 1 and method 3a performed better for fasting consumption than for consumption after a meal (Fig. 6, 7). The type of alcohol consumed, that is, beer and wine, which have a lower

ethanol content, had the greatest influence in this case. When consuming alcohol in the form of vodka was concerned, method 1 and method 3a performed equally well for fasting consumption and for consumption after a meal, which is consistent with the findings of analyses based on results obtained by Sadler and Fox (2011), in whose study the subjects consumed alcohol at 15% by volume. The test results had a lower correlation with the calculation results where the drinks consumed contained lower alcohol volumes, probably due to the fact that in such cases the alcohol deficit is greater (Mitchell, Teigen, Ramchandani, 2014). Furthermore, consumption after a meal could also have reinforced this effect (Jones et al., 1997).

Both for fasting consumption and consumption after a meal, it was also noted that a better correlation was obtained for results calculated at 180 minutes and 240 minutes after the start of consumption than at the shorter intervals of 60 minutes and 120 minutes (Fig. 8, 9). For fasting consumption with method 1 and method 3a, the absolute error fell within the range 0.00–0.30‰ in 92% of cases for calculations made 60–120 minutes from the start of consumption and in 100% of cases for calculations made at 180–240 minutes. For consumption after a meal with the same methods (1 and 3a), the absolute error fell within the

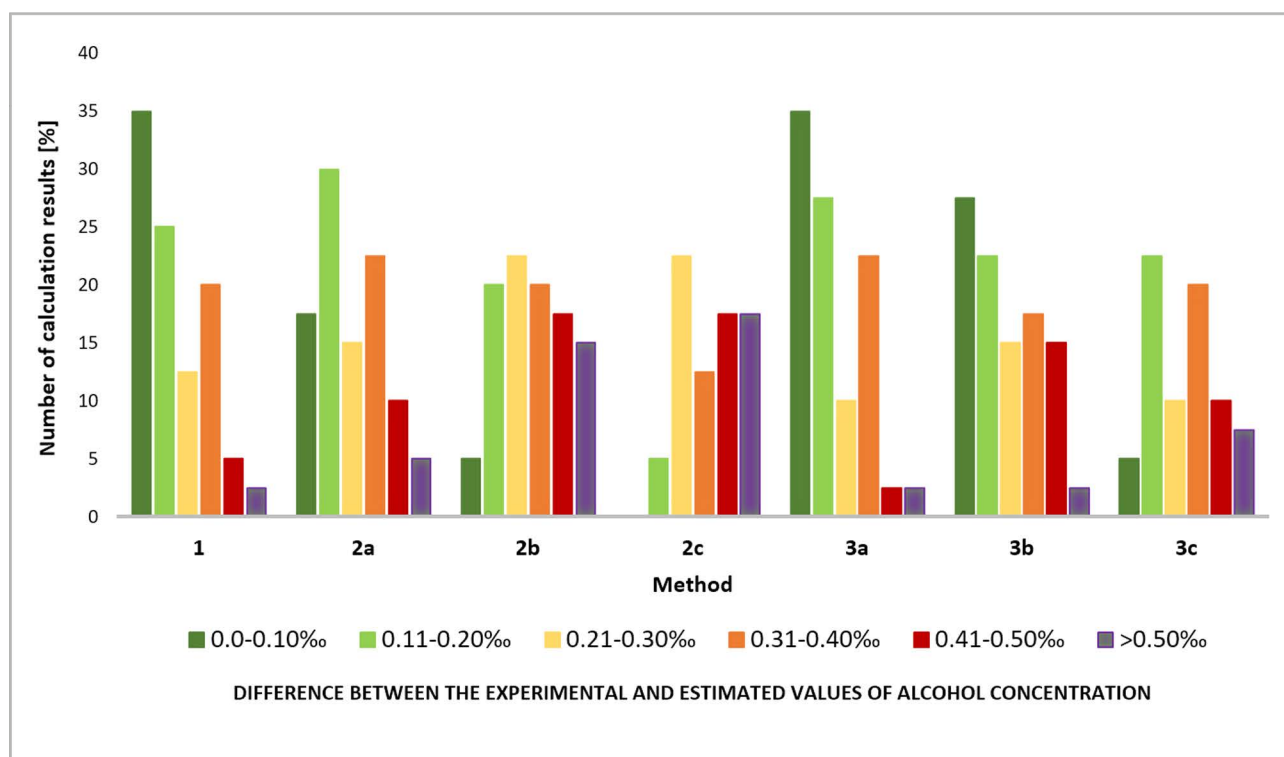


Figure 5. Comparison of prospective calculation methods.

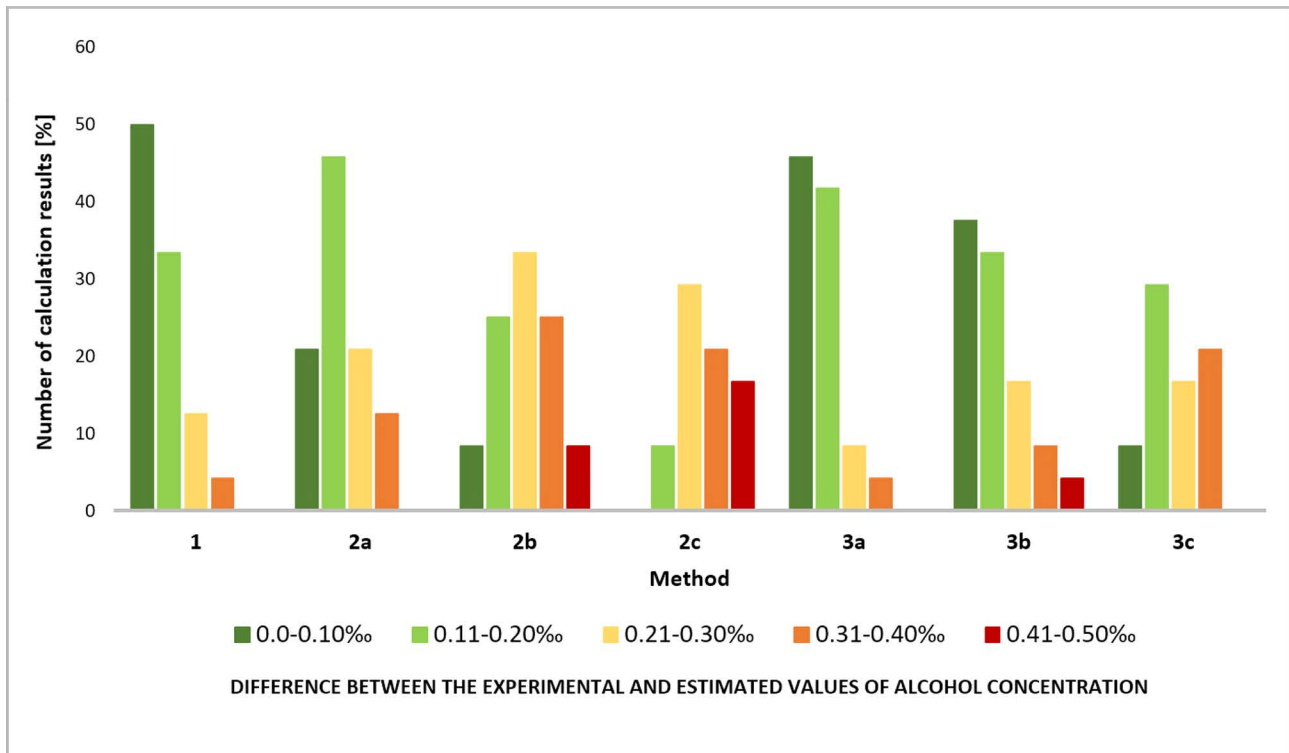


Figure 6. Comparison of prospective calculation methods for fasting consumption.

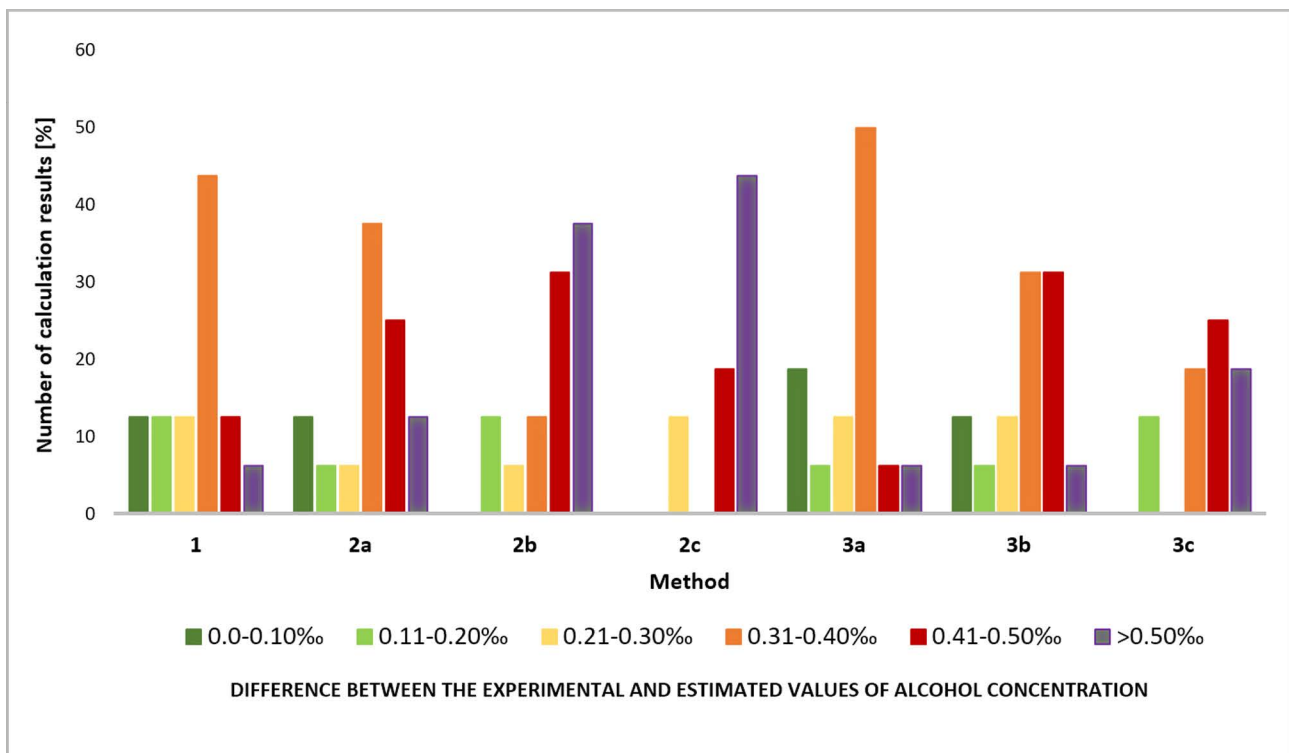


Figure 7. Comparison of prospective calculation methods for consumption after a meal.

range 0.00–0.30‰ in approximately 40% of cases both for calculations made at 60–120 minutes and at 180–240 minutes from the start of consumption. However, the majority of these results fell within the range 0.00–0.10‰ for calculations made at 180–240 minutes (Figures 8–11). These observations are probably due to the fact that the period up to 120 minutes from the beginning of consumption includes the phases of alcohol absorption and distribution. In this period of time the alcohol deficit associated with the consumption type (fasting or after a meal) has an influence on test results. It can therefore be seen that, once equilibrium is established and maximum concentration is reached, the results of prospective calculations show a better correlation with the concentrations obtained from measurements both in the case of fasting consumption and consumption after a meal. It would appear therefore, that when alcohol consumption takes place a short time before testing it is important to draw conclusions based on the results of tests conducted at the longest time interval possible after the end of alcohol consumption. In such cases, when the person tested declares that she/he has consumed alcohol a short time before testing, it is important to measure the level of alcohol in exhaled air or take blood samples three times at half-hourly intervals.

The present study also compares the results of tests conducted on the same person (described as Female 1), who consumed the same dose of alcohol (vodka) when fasting before and after an interval of several months during which she gained body weight. It was noted that this woman reached maximum alcohol concentrations of 0.84‰ (the case described as Female 1a – weight of 66 kg) and 0.80‰ (the case described as Female 1b – weight of 70 kg) in the same time period of 55 minutes after beginning of alcohol consumption. A longer time taken to establish equilibrium of concentrations or very slow elimination up to 120 minutes after beginning consumption, followed by elimination of alcohol at a rate of 0.2‰ per hour was observed in the first case (Female 1a). Testing in the second case (Female 1b) found that alcohol was already being eliminated from her body at a rate of 0.2‰ per hour 60 minutes after consumption had begun, which led to faster total elimination of this compound than in the case of the first consumption. The correlation of the results of calculations using method 1 and method 3a with the experimental values was better in the case of Female 1a than in that of Female 1b. Nevertheless, both these methods still showed the best correlation when compared with the other calculation models.

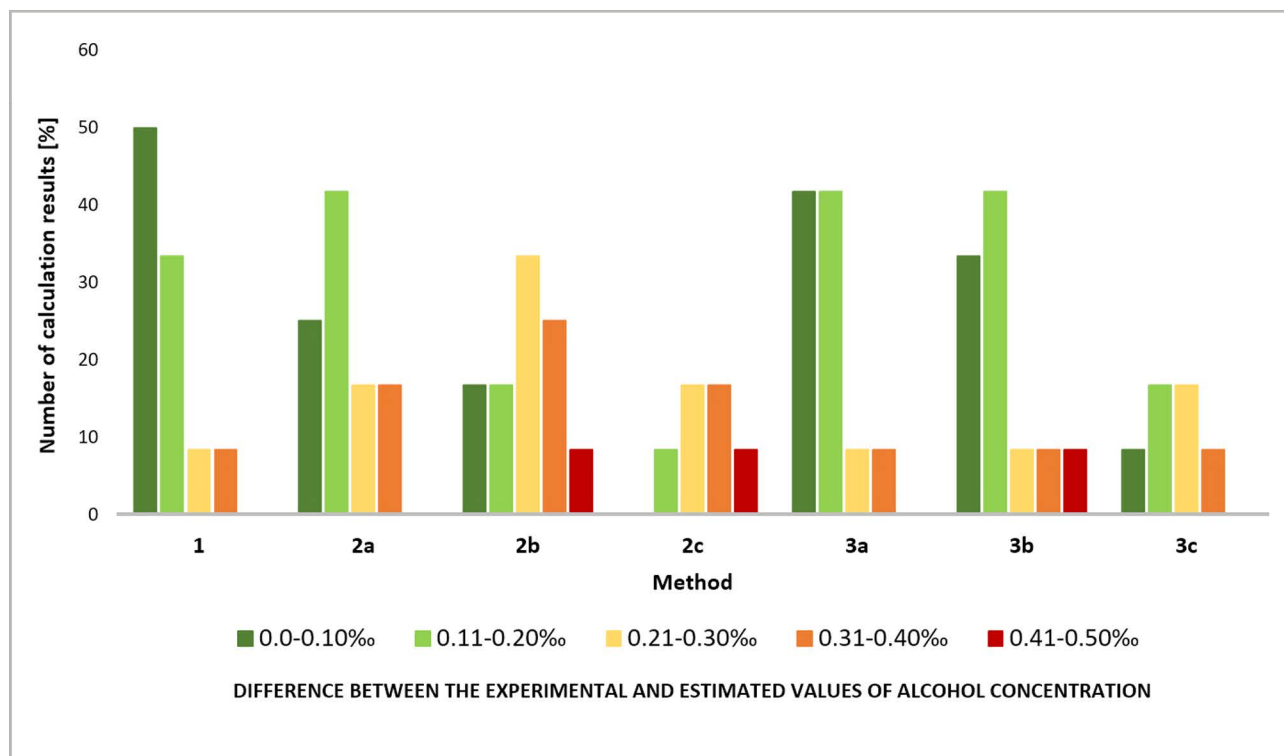


Figure 8. Comparison of prospective calculation methods for fasting consumption (60–120 minutes after start of consumption).

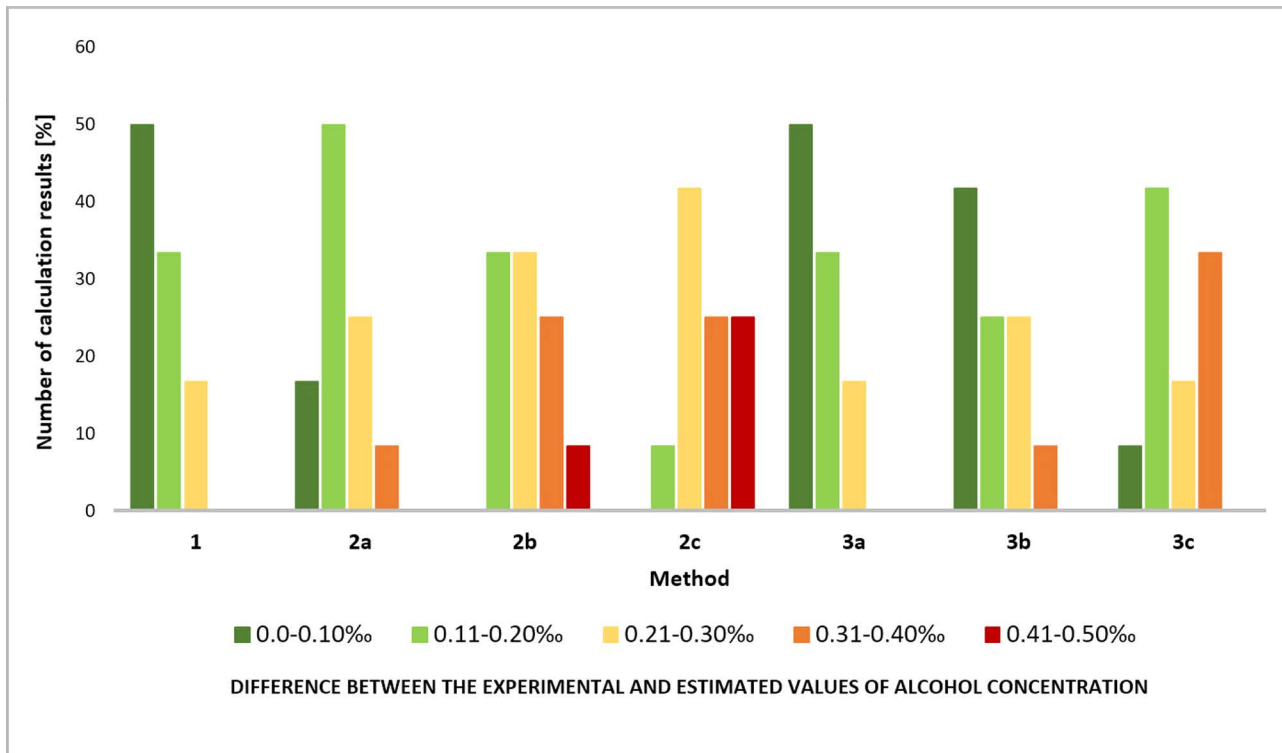


Figure 9. Comparison of prospective calculation methods for fasting consumption (180–240 minutes after start of consumption).

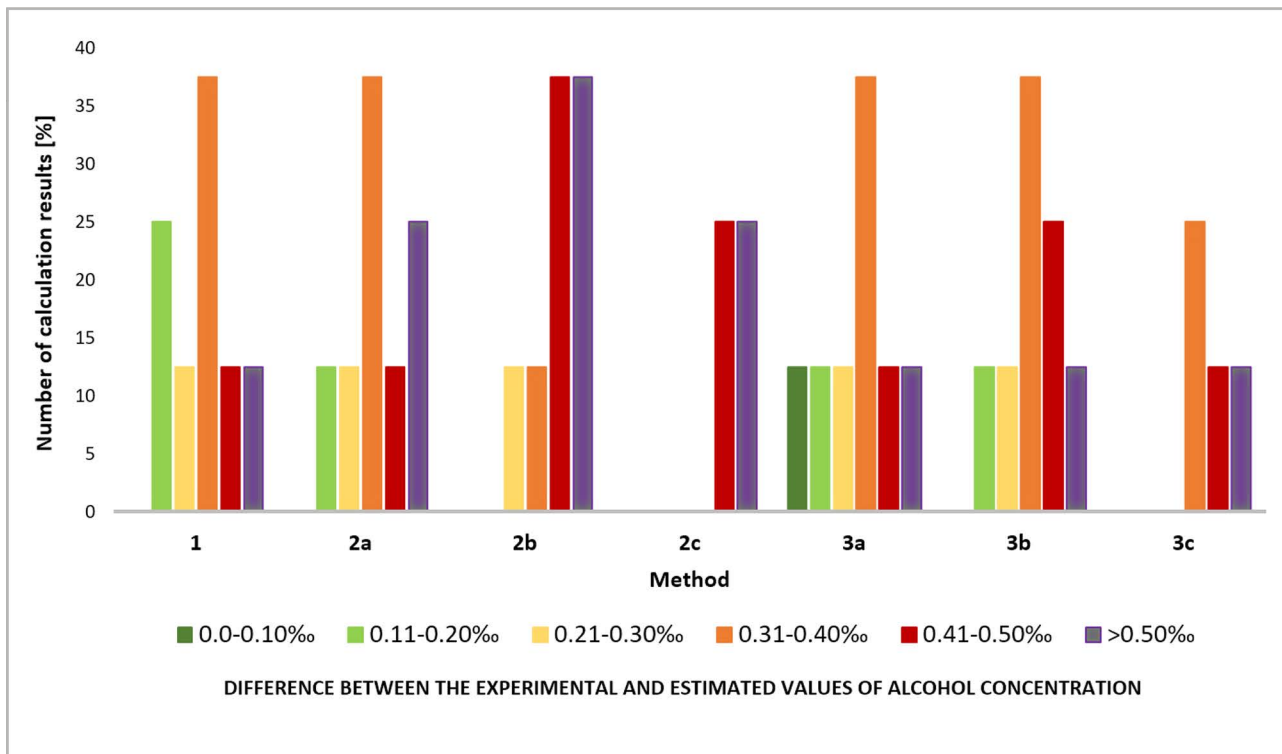


Figure 10. Comparison of prospective calculation methods for consumption after a meal (60–120 minutes after start of consumption).

The obtained results also demonstrate how important it is to conduct several sobriety tests at longer time intervals in order to determine the phase of alcohol metabolism the tested person is in. Furthermore, when compiling an expert opinion based on prospective calculations it is extremely important to take into account the correlation of the results of the calculations with the results of all tests. The problems set out above can be confirmed by the alcohol curves plotted for the fasting consumption of the people described as Female 1b and Male 2. For those people, when elimination of alcohol from the body was evidently already in progress (at rates of 0.2‰ per hour and 0.1‰ per hour respectively), results indicating an increase in alcohol concentration were registered at short time intervals. If the tests are carried out at short time intervals and one of the measurements shows a momentary increase in ethanol concentration, it is possible to mistakenly infer that the person tested is in the alcohol absorption phase. Incorrect assumptions of this kind can, in turn, have a negative influence on the final conclusions regarding the correlation between the ethanol concentration calculated based on the alcohol intake stated by the person tested and that person's test results. Unpredictable irregularities in alcohol curves and short-term

concentration fluctuations in analyses of exhaled air are common and can pose major difficulties when using prospective calculations (Dubowski, 1985). It would appear that short term fluctuations in alcohol concentration in exhaled air are mainly due to the measurement uncertainty of the used analyser (Jones, 2008).

The conclusions drawn based on the research set out in this paper regarding the best model for prospective calculations are consistent with our first comparison of the most commonly used calculation methods (Sekula et al., 2020). Figure 12 presents a graphical comparison of the calculation models for both sets of data (for the cases analysed in this paper and for those analysed in the authors' previous paper). The percentage of results whose absolute error fell within the specified ranges is shown for each method: 0.00–0.10‰, 0.11–0.20‰, 0.21–0.30‰, 0.31–0.40‰, 0.41–0.50‰, and >0.50‰ (because a time of 90 minutes was assumed for absorption, some results were not obtained for method 2c and method 3c).

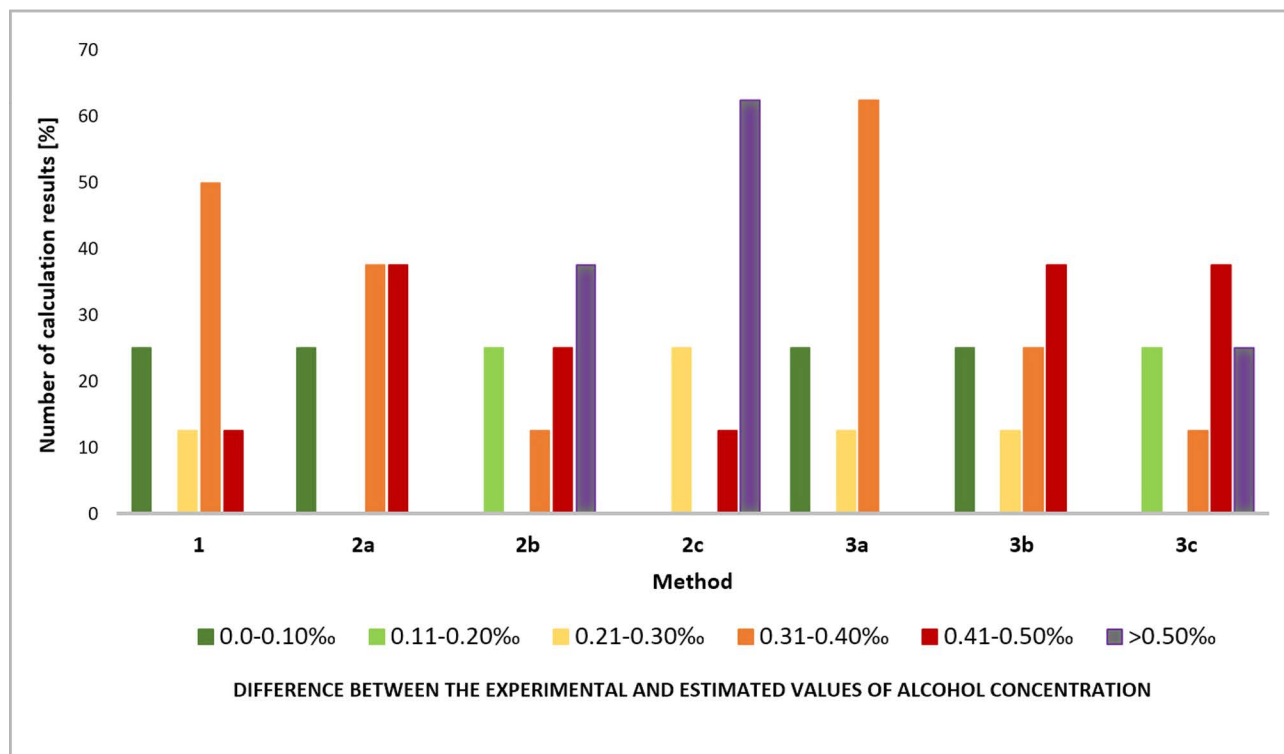


Figure 11. Comparison of prospective calculation methods for consumption after a meal (180–240 minutes after start of consumption).

4. Summary and conclusions

Expert practice shows that in cases related to determining the state of sobriety, experts face a wide range of alcohol consumption scenarios. Every case that they investigate is different due to intra-individual and inter-individual variability in the metabolism of alcohol and also due to the influence on the shape of the alcohol curve of factors such as rate of consumption, type of beverage consumed, and the amount of food in the stomach. Prospective calculations are used in expert opinions requested by the judicial system to verify alcohol consumption scenarios.

A comparison of the most common ways of performing prospective calculations used by forensic experts was conducted based on our own research. Analysis of the calculation results obtained confirmed the findings of our first comparison of the calculation models discussed above (Sekula et al., 2020). The best correlation was obtained for method 1, which is the method applied at the Institute of Forensic Research (elimination calculated from the beginning of consumption without considering the alcohol deficit), and method 3a, which assumes an absorption time of 30 minutes and an alcohol deficit of 10%. When alcohol

is consumed while fasting or after a meal, and irrespective of the type of alcoholic beverage consumed, these are the models that perform best. The lowest correlation, however, was obtained for method 2c and method 3c, which assume an absorption time of 90 minutes and, in the latter case, an alcohol deficit at the level of 10%.

References

1. Dubowski, K. M. (1985). Absorption, distribution and elimination of alcohol: Highway safety aspects. *Journal of Studies on Alcohol*, 10, 98–108.
2. Forrest, A. R. W. (1986). Commentary: Estimation of Widmark's factor. *Journal of the Forensic Science Society*, 26(4), 249–252.
3. 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.

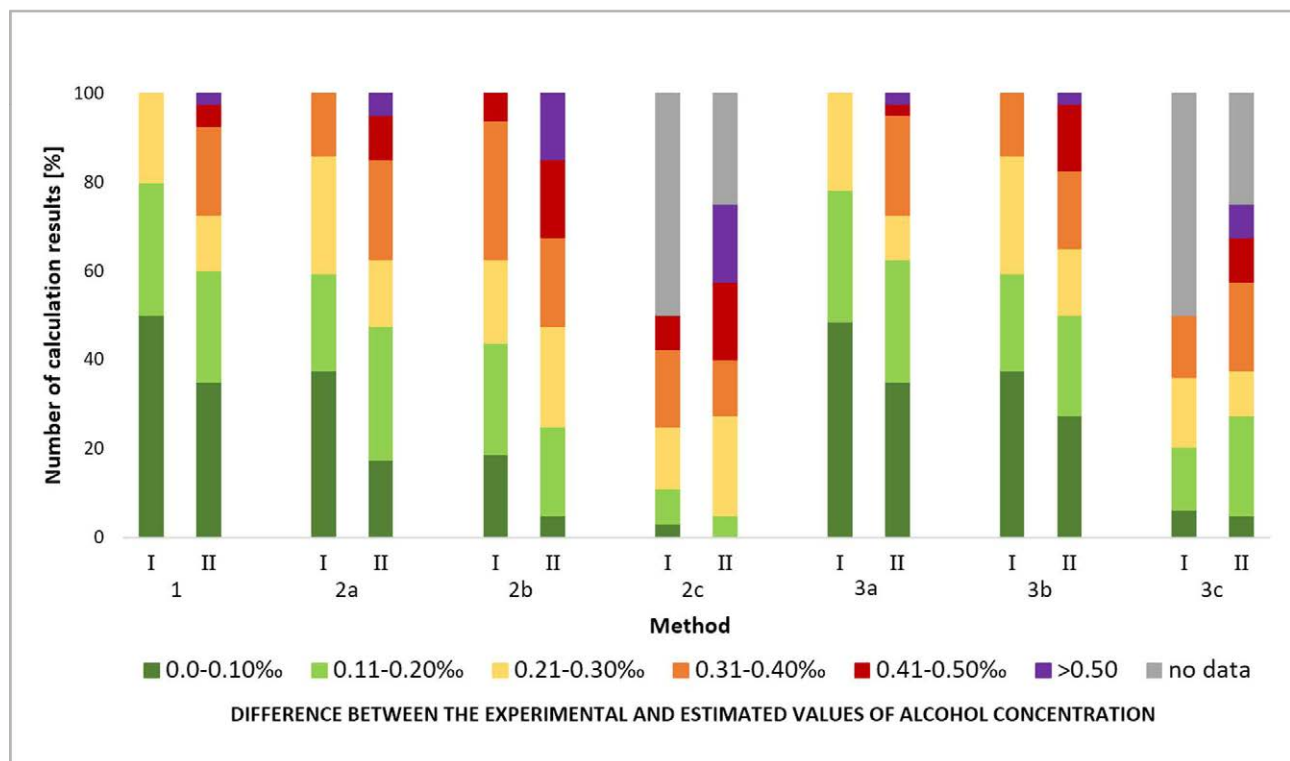



Figure 12. Comparison of prospective calculation methods based on previous cases (I) (Sekula et al., 2020) and cases analysed in this study (II).

4. Jones, A. W. (2008). Biochemical and physiological research on the disposition and fate of ethanol in the body, 5th edition. (In:) J. Garriott (Eds.), *Garriott's medicolegal aspects of alcohol* (pp. 41–155). Tuscon: Lawyers & Judges Publishing Co.
5. Jones, A. W. (2011). Pharmacokinetics of ethanol – issues of forensic importance. *Forensic Science Review*, 23, 91–136.
6. 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.
7. Jones, A. W., Wigmore, J. G., House, C. J. (2006). The course of the blood-alcohol curve after consumption of large amounts of alcohol under realistic conditions. *Canadian Society of Forensic Science Journal*, 39(3), 125–140.
8. Mitchell Jr., M. C., 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. 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.
10. Sekuła, K., Jama, D., Zuba, D. (2020). The influence of prospective calculation models on accuracy of determining the sobriety state. *Problems of Forensic Sciences*, 122–123, 143–163.

ORCIDDominika Jama  0000-0002-4479-555XKarolina Sekuła  0000-0001-8061-9388Dariusz Zuba  0000-0001-5133-1756**Corresponding author**

Dominika Jama
Institute of Forensic Research
ul. Westerplatte 9
PL 31-033 Kraków
e-mail: djama@ies.gov.pl

PORÓWNANIE WYNIKÓW OBLICZEŃ PROSPEKTYWNYCH Z RZECZYWISTYMI KRZYWYMI ALKOHOLOWYMI

1. Wprowadzenie

Opiniowanie w sprawach dotyczących zdarzeń drogowych z udziałem osób będących pod wpływem alkoholu bardzo często opiera się na rachunku prospektywnym. Najczęściej dzieje się tak w przypadku, gdy osoba badana, u której wykazano etanol w organizmie, po odaleniu się z miejsca zdarzenia twierdzi, że alkohol spożywała po zakończeniu jazdy. Wówczas deklaracje dotyczące ilości i rodzaju spożytego napoju alkoholowego wykorzystywane są do obliczenia stężenia alkoholu we krwi, a następnie sprawdzenia korelacji uzyskanych wyników obliczeń z wynikami badań stanu trzeźwości. Wykazano, że zgodność wyników rachunku prospektywnego z rzeczywistymi stężeniami alkoholu jest uzależniona od fazy metabolizmu alkoholu, w jakiej znajdowała się osoba badana podczas przeprowadzania pomiarów powietrza wydychanego lub pobrania krwi (Sekuła, Jama, Zuba, 2020).

Metabolizm alkoholu etylowego w organizmie zachodzi w trzech etapach, które obejmują wchłanianie, dystrybucję oraz eliminację. Należy zaznaczyć, że procesy te przebiegają równolegle, przy czym w początkowej fazie metabolizmu szybkość wchłaniania alkoholu przewyższa szybkość eliminacji, natomiast w końcowej fazie proces eliminacji jest dominujący. Poszczególne etapy metabolizmu można przedstawić w sposób graficzny w postaci tzw. krzywej alkoholowej, tj. zależności stężenia alkoholu względem czasu od chwili rozpoczęcia konsumpcji napoju alkoholowego. Modelowa krzywa alkoholowa opracowana została na podstawie setek badań przeprowadzanych przez wiele lat z udziałem zdrowych kobiet i mężczyzn spożywających alkohol w postaci piwa, wina lub napojów spirytusowych na czczo lub po posiłku (Jones, 2011). Przykład modelowy takiej krzywej przedstawiono na rycinie 1.

W rzeczywistości krzywa alkoholowa może przyjmować różne kształty, niekiedy znacznie odbiegające od modelowego przebiegu, wskazujące na spore różnice zarówno wewnątrz-, jak i międzyosobnicze. Kształt rzeczywistej krzywej alkoholowej jest w głównej mierze zależny od czynników wpływających na proces wchłaniania alkoholu do organizmu, tj. od rodzaju spożytego alkoholu, objętości płynu i dawki, czasu jego konsumpcji, jak też od tego, czy był spożywany na czczo, przy posiłku lub po nim, w tym także od wielkości i rodzaju posiłku (Sekuła i in., 2020). Należy zwrócić uwagę na to, iż spożycie alkoholu na czczo powoduje, że maksymalne stężenie alkoholu, jakie osiągane jest w organizmie, jest znacznie wyższe niż w przypadku konsumpcji po posiłku

i nadaje krzywej alkoholowej kształt bardziej zbliżony do teoretycznego modelu (Ryc. 2). W przypadku gdy alkohol spożywany jest przy wypełnionym żołądku, krzywa alkoholowa jest zazwyczaj spłaszczona (Ryc. 2) z uwagi na wydłużony proces wchłaniania do krwiobiegu, co spowodowane jest zmniejszoną biodostępnością alkoholu (Jones, Jonsson, Kechagias, 1997). Podobna zależność występuje przy szybkiej i rozciągniętej w czasie konsumpcji alkoholu. Szybkie wprowadzenie dawki etanolu do organizmu pozwala zazwyczaj na osiągnięcie maksymalnego stężenia znacznie wyższego niż w przypadku powolnego spożywania tej samej ilości etanolu, głównie z uwagi na procesy metaboliczne przebiegające równolegle z procesem wchłaniania. W przypadku konsumpcji dużej ilości alkoholu rozciągniętej w czasie szybkość wzrostu stężenia alkoholu w organizmie zależy od częstości spożywania kolejnych porcji alkoholu, a także ilości etanolu zawartego w spożywanym napoju. W czasie picia stężenie alkoholu stale rośnie, ponieważ szybkość wchłaniania jest większa niż szybkość dystrybucji i eliminacji. Każdy przedłużony okres bez spożycia alkoholu daje więcej czasu na wchłonięcie już spożytego etanolu, co powoduje, że krzywa alkoholowa ma tendencję wypłaszczania swojego przebiegu przed kolejną dawką alkoholu (Jones, Wigmore, House, 2006). Ponadto należy mieć na uwadze fakt, iż kształt krzywej alkoholowej zależy również od stanu psychofizycznego osoby spożywającej alkohol. Metabolizm tej samej dawki etanolu w takich samych warunkach zewnętrznych (pora dnia, objętość cieczy, czas i rodzaj spożywanego posiłku) może odbywać się w sposób odmienny u tej samej osoby w różnym czasie (zmiennosc wewnątrzsobnicza). Tym bardziej krzywe alkoholowe przybierają różne kształty w przypadku spożycia tej samej ilości alkoholu w takich samych warunkach przez różne osoby (zmiennosc międzyosobnicza; Fraser, Rosalki, Gamble, Pounder, 1995).

W celu sprawdzenia zgodności wyników obliczeń prospektywnych z wynikami pomiarów stanu trzeźwości przeprowadzono badania polegające na wyznaczeniu rzeczywistych krzywych alkoholowych po spożyciu znanej dawki etanolu i porównaniu ich z obliczonymi teoretycznymi stężeniami alkoholu. Niniejszy artykuł stanowi kontynuację porównania najczęściej spotykanych wariantów obliczeń prospektywnych stosowanych przez różnych biegłych. Analogicznie jak w poprzedniej pracy autorów niniejszego artykułu (Sekuła i in., 2020) rozważono następujące sposoby wykonywania rachunku prospektywnego:

1) eliminacja liczona od momentu rozpoczęcia konsumpcji bez uwzględniania deficytu alkoholowego (metoda

stosowana przez biegłych Instytutu Ekspertyz Sądowych w Krakowie);

- 2) eliminacja liczona od zakończenia fazy wchłaniania alkoholu bez uwzględniania deficytu alkoholowego;
- 3) eliminacja liczona od zakończenia fazy wchłaniania alkoholu z uwzględnieniem deficytu alkoholowego.

2. Materiały i metody

Badaniom poddano 5 osób w wieku 29–64 lat (2 kobiety i 3 mężczyzn), którym podano alkohol w postaci piwa, wina lub wódki w ilości prowadzącej w ich organizmie do teoretycznego stężenia etanolu na poziomie 1‰. Alkohol spożywany był na czczo przez wszystkich uczestników badania (dla jednej z kobiet badania wykonano dwukrotnie w odstępach kilkumiesięcznych, gdyż w tym czasie nastąpiła zmiana masy ciała kobiety) oraz po posiłku przez 2 kobiety oraz 2 mężczyzn (posiłek stanowiło danie wysokowęglowodanowe i wysokotłuszczowe – zawierające około 500–600 kcal). Po spożyciu alkoholu pomiary prowadzono analizatorem wydechu Alcotest 7510 firmy Dräger w odstępach pięciominutowych. Na podstawie uzyskanych wyników wykreślono krzywe alkoholowe (Ryc. 3 i 4).

Odotowano maksymalne stężenia alkoholu (c_{\max}) oraz czas (t_{\max}), w jakim zostały one osiągnięte przez badane osoby, a także stężenia alkoholu w ich organizmie po upływie 60, 120, 180 i 240 minut od rozpoczęcia spożywania alkoholu. Rzeczywiste wartości porównano z wynikami obliczeń dokonanych trzema metodami:

- 1) eliminacja liczona od momentu rozpoczęcia konsumpcji, bez uwzględniania deficytu alkoholowego (metoda stosowana przez biegłych IES – metoda 1);
- 2) eliminacja liczona od zakończenia fazy wchłaniania alkoholu (trwającej 30, 60 lub 90 minut) bez uwzględniania deficytu alkoholowego (metoda 2a, 2b, 2c);
- 3) 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 współczynnik rozmieszczenia alkoholu obliczony metodą Forresta (1986) oraz szybkość eliminacji alkoholu w zakresie 0,1–0,2‰/h. Porównanie rzeczywistych stężeń z teoretycznymi wartościami przedstawiono w tabeli 1.

3. Wyniki i dyskusja

Maksymalne stężenia alkoholu dla badanych osób osiągnęte były w średnim czasie $t_{\max} = 67$ minut (w zakresie 35–100 minut). Nie stwierdzono różnic między płciami: dla mężczyzn czas ten wynosił średnio 68 minut

(w zakresie 35–95 minut), a dla kobiet 66 minut (w zakresie 50–100 minut).

W przypadku konsumpcji na czczo t_{\max} wynosił:

- 80 minut dla mężczyzny i średnio 52 minuty (w zakresie 50–55 minut) dla kobiety badanej dwukrotnie, spożywających wódkę,
- 50 minut dla kobiety spożywającej wino,
- średnio 65 minut (w zakresie 55–75 minut) dla dwóch mężczyzn spożywających piwo.

Natomiast w przypadku konsumpcji po posiłku czas ten wynosił:

- 95 minut dla mężczyzny i 70 minut dla kobiety, spożywających wódkę,
- 100 minut dla kobiety spożywającej wino,
- 35 minut dla mężczyzny spożywającego piwo.

Porównanie maksymalnego stężenia alkoholu osiągniętego przez badane osoby z wartościami obliczonymi wykazało, że wartości doświadczalne były w większości niższe niż wartości teoretyczne. Obliczono, że różniły się one średnio o 31% (w zakresie 0–64%). W przypadku konsumpcji na czczo różnica między stężeniami teoretycznymi a rzeczywistymi wynosiła średnio 22% (w zakresie 0–37%), a w przypadku konsumpcji po posiłku wynosiła średnio 44% (w zakresie 26–64%). W jednym przypadku, dotyczącym konsumpcji wina na czczo, zaobserwowano uzyskanie przez badaną osobę maksymalnego stężenia dokładnie takiego jak oszacowane stężenie teoretyczne.

Analizę danych przeprowadzono poprzez porównanie wartości rzeczywistego stężenia alkoholu osiąganego przez badane osoby po upływie 60, 120, 180 i 240 minut od momentu rozpoczęcia konsumpcji z teoretycznymi wynikami obliczeń. Dla wariantu obliczeń uwzględniającego czas wchłaniania alkoholu wynoszący 1,5 godziny obliczone stężenie alkoholu w 60 minucie podawano jako wartość mniejszą od maksymalnego teoretycznego stężenia alkoholu z uwagi na trwającą jeszcze wówczas fazę wchłaniania alkoholu. W tabeli 1 pogrubiono wartości rzeczywistych stężeń alkoholu osiągniętych przez badane osoby oraz wartości teoretycznych stężeń uzyskanych różnymi metodami, które korelowały z wartościami doświadczalnymi (przy zastosowaniu zaokrąglenia do pierwszego miejsca po przecinku dla obliczanych stężeń).

Porównanie wyników obliczeń z wartościami doświadczalnymi stężeń przeprowadzono przez obliczenie bezwzględnego błędu obliczeń prospektywnych, tj. różnicy 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‰, 0,41–0,50‰ oraz >0,50‰. W tabeli 2 przedstawiono dla każdej metody obliczeń prospektywnych liczbę przypadków, dla których bezwzględny błąd mieścił się w podanych wyżej zakresach, a także jaka dana liczba przypadków stanowiła

procent ze wszystkich wyników w obrębie danej metody obliczeń prospektywnych. Powyższe dane przedstawiono również w sposób graficzny na rycinie 5. Dodatkowo na rycinach 6 i 7 przedstawiono porównanie metod obliczeń z uwzględnieniem podziału na konsumpcję na czczo i po posiłku. Przeprowadzone porównanie wskazało, że najlepszą korelację wyników obliczeń z rzeczywistymi stężeniami alkoholu uzyskano dla metody 1 (eliminacja liczona od momentu rozpoczęcia konsumpcji bez uwzględniania deficytu alkoholowego, metoda stosowana przez biegłych IES) oraz metody 3a (eliminacja liczona od zakończenia fazy wchłaniania alkoholu trwającej 30 minut z uwzględnieniem deficytu alkoholowego na poziomie 10%).

Błąd bezwzględny dla 72,5% przypadków w obrębie tych metod mieścił się w zakresie 0,00–0,30‰, w tym wyniki z błędem do 0,10‰ stanowiły 35% wszystkich wyników.

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

- 2a: eliminacja liczona od zakończenia fazy wchłaniania alkoholu trwającej 30 minut (błąd bezwzględny mieszczący się w zakresie 0,00–0,30‰ występował w 62,5% przypadków),
- 2b: eliminacja liczona od zakończenia fazy wchłaniania alkoholu trwającej 60 minut (błąd bezwzględny mieszczący się w zakresie 0,00–0,30‰ występował w 47,5% przypadków),
- 3b: eliminacja liczona od zakończenia fazy wchłaniania alkoholu trwającej 60 minut z uwzględnieniem deficytu alkoholowego na poziomie 10% (błąd bezwzględny mieszczący się w zakresie 0,00–0,30‰ występował w 65% przypadków).

Najgorszą korelację wyników obliczeń prospektywnych z wartościami doświadczalnymi stężeń etanolu uzyskano dla pozostałych dwóch metod:

- 2c: eliminacja liczona od zakończenia fazy wchłaniania alkoholu trwającej 90 minut (błąd bezwzględny mieszczący się w zakresie 0,00–0,30‰ występował w 27,5% przypadków),
- 3c: eliminacja liczona od zakończenia fazy wchłaniania alkoholu trwającej 90 minut z uwzględnieniem deficytu alkoholowego na poziomie 10% (błąd bezwzględny mieszczący się w zakresie 0,00–0,30‰ występował w 37,5% przypadków).

W przypadku metody 2c i 3c nie uzyskano wyników obliczeń prospektywnych dla 25% przypadków z uwagi na przyjęcie czasu wchłaniania trwającego 90 minut. Założenie, że alkohol wchłania się do 90 minut od rozpoczęcia konsumpcji, nie pozwoliło na wykonanie obliczeń na 60 minut po rozpoczęciu konsumpcji, gdyż zgodnie z tymi metodami w tym czasie alkohol nadal wchłaniał się do organizmu.

W wyniku badań przeprowadzonych przez autorów wykazano, że metody 1 i 3a lepiej sprawdzają się dla

konsumpcji na czczo niż po posiłku (Ryc. 6 i 7). Miał na to wpływ głównie rodzaj spożywanego napoju alkoholowego, tj. piwa i wina, które mają mniejszą zawartość etanolu. W przypadku spożycia alkoholu w postaci wódki obie metody (1 i 3a) sprawdzały się równie dobrze zarówno dla konsumpcji na czczo, jak i po posiłku, co zgadzało się z wnioskami wyciągniętymi z analiz przeprowadzonych na wynikach opracowanych przez Sadlera i Foxa (2011), gdzie osoby badane spożywały alkohol o zawartości 15% obj. Dla niższych zawartości alkoholu w spożywanych napojach wyniki badań miały gorszą korelację z wynikami obliczeń – zapewne z uwagi na to, że w takich przypadkach deficyt alkoholowy jest większy (Mitchell, Teigen, Ramchandani, 2014). W tym przypadku również konsumpcja po posiłku mogła wzmocnić ten efekt (Jones i in., 1997).

Zauważono również, że lepszą korelację uzyskano dla wyników obliczeń na 180 i 240 minut od rozpoczęcia konsumpcji niż w przypadku krótszego odstępu czasu, tj. 60 i 120 minut – zarówno dla konsumpcji na czczo, jak i po posiłku (Ryc. 8 i 9). W przypadku konsumpcji na czczo dla metody 1 i 3a błąd bezwzględny mieszczący się w zakresie 0,00–0,30‰ występował w 92% przypadków dla obliczeń na 60–120 minut od rozpoczęcia konsumpcji oraz w 100% przypadków dla obliczeń na 180–240 minut. Natomiast w przypadku konsumpcji po posiłku dla obu ww. metod błąd bezwzględny mieszczący się w zakresie 0,00–0,30‰ występował w około 40% przypadków zarówno dla obliczeń na 60–120 minut, jak i 180–240 minut od rozpoczęcia konsumpcji. Niemniej jednak dla obliczeń na 180–240 minut większość z tych wyników mieściła się w zakresie 0,00–0,10‰ (Ryc. 8–11). Powyższe obserwacje wynikają zapewne z faktu, że czas do 120 minut od rozpoczęcia konsumpcji obejmuje fazę wchłaniania i dystrybucji alkoholu. Wówczas na wyniki badań ma wpływ deficyt alkoholowy powiązany z rodzajem konsumpcji (na czczo lub po posiłku). Widać zatem, że po ustaleniu równowagi i osiągnięciu maksymalnego stężenia wyniki obliczeń prospektywnych wykazują lepszą korelację ze stężeniami uzyskanymi podczas pomiarów w przypadku konsumpcji na czczo, jak też po posiłku. Wydaje się zatem, że w sytuacjach gdy konsumpcja alkoholu nastąpiła w niedługim czasie przed badaniami, istotne jest opieranie wnioskowania na wynikach badań przeprowadzonych w jak najdłuższym odstępie czasu od zakończenia spożywania alkoholu. W takich przypadkach gdy osoba badana deklaruje spożycie alkoholu na krótko przed badaniem, ważne jest wykonanie pomiarów bądź pobranie krwi trzykrotnie w odstępach półgodzinnych.

W niniejszej pracy dokonano także porównania wyników badań przeprowadzonych dla tej samej osoby oznaczonej jako Kobieta 1, która spożyła taką samą dawkę alkoholu (alkohol wysokoprocentowy) na czczo w odstępie kilkumiesięcznym po zmianie masy ciała.

Zauważono, że kobieta ta osiągnęła maksymalne stężenia alkoholu równe 0,84‰ (przypadek opisany jako Kobieta 1a – masa ciała 66 kg) i 0,80‰ (Kobieta 1b – masa ciała 70 kg) w takim samym czasie, tj. 55 minut od rozpoczęcia spożywania alkoholu. W pierwszym przypadku (Kobieta 1a) zaobserwowano dłuższy czas ustalania równowagi stężeń lub bardzo powolną eliminację do 120 minut od rozpoczęcia konsumpcji, a następnie eliminację alkoholu z szybkością 0,2‰ na godzinę. W drugim przypadku (Kobieta 1b) alkohol już po 60 minutach od rozpoczęcia konsumpcji eliminował się z organizmu badanej kobiety z szybkością 0,2‰ na godzinę, co doprowadziło do szybszej całkowitej eliminacji tego związku niż w przypadku pierwszej konsumpcji. Korelacja wyników obliczeń metodami 1 i 3a z wartościami doświadczalnymi była lepsza dla przypadku Kobiety 1a niż dla Kobiety 1b, niemniej jednak obie te metody nadal wykazywały najlepszą korelację w porównaniu z pozostałymi modelami obliczeń.

Uzyskane wyniki badań pokazują również, jak ważne jest przeprowadzanie kilku badań stanu trzeźwości w dłuższych odstępach czasu w celu jak najpewniejszego ustalenia fazy metabolizmu alkoholu, w jakiej znajduje się badana osoba. Ponadto w opiniowaniu w oparciu o obliczenia prospektywne niezmiernie istotne jest branie pod uwagę korelacji wyników obliczeń z wynikami wszystkich badań. Potwierdzenie wyżej wskazanych problemów mogą stanowić wykreślone krzywe alkoholowe dla osób oznaczonych jako Kobieta 1b i Mężczyzna 2 spożywających alkohol na czczo. U ww. osób w czasie ewidentnie trwającej już eliminacji alkoholu z organizmu (z szybkością odpowiednio 0,2‰ oraz 0,1‰ na godzinę) w krótkich odstępach czasu zarejestrowano wyniki wskazujące na wzrost stężenia alkoholu. Gdyby badania zostały przeprowadzone w krótkich odstępach czasu i jeden z pomiarów wykazałby chwilowy wzrost stężenia etanolu, można byłoby błędnie przyjąć, że badana osoba znajduje się wówczas w fazie wchłaniania alkoholu. Takie błędne założenie mogłoby z kolei mieć negatywny wpływ na końcowe wnioski dotyczące korelacji stężenia etanolu obliczonego na podstawie deklarowanych przez badaną osobę ilości spożytego alkoholu z jej wynikami badań. Nieprzewidywalna nieregularność krzywej oraz krótkotrwałe wahania stężeń w przypadku analizy powietrza wydychanego są częste i mogą stanowić duże utrudnienie w stosowaniu rachunku prospektywnego (Dubowski, 1985). Wydaje się, że krótkotrwałe wahania stężeń alkoholu w powietrzu wydychanym wynikają głównie z niepewności pomiaru stosowanych urządzeń (Jones, 2008).

Wnioski dotyczące wyboru najlepszego modelu obliczeń prospektywnych wyciągnięte na podstawie przeprowadzonych w niniejszej pracy badań były zgodne z ustaleniami z pierwszego porównania najczęściej stosowanych metod obliczeń (Sekuła i in., 2020). Graficzne porównanie modeli obliczeń dla obu zbiorów danych

(przypadków analizowanych w poprzedniej oraz niniejszej pracy autorów) zaprezentowano na rycinie 12. Dla każdej metody przedstawiono procentowo liczbę wyników, których błąd bezwzględny mieścił się w podanych zakresach: 0,00–0,10‰, 0,11–0,20‰, 0,21–0,30‰, 0,31–0,40‰, 0,41–0,50‰ oraz >0,50‰ (dla metod 2c i 3c nie uzyskano części wyników z uwagi na przyjęcie czasu wchłaniania trwającego 90 minut).

4. Podsumowanie i wnioski

Z praktyki eksperckiej wynika, że w sprawach dotyczących ustalania stanu trzeźwości biegli spotykają się z szerokim wachlarzem scenariuszy konsumpcji alkoholu. Każdy badany przypadek jest odmienny z uwagi na wewnątrz- i międzypersonalną zmienność metabolizmu alkoholu, a także wpływ na kształt krzywej alkoholowej takich czynników, jak m.in.: szybkość konsumpcji, rodzaj spożytego napoju, stopień wypełnienia żołądka pokarmem. W celu weryfikacji scenariuszy konsumpcji alkoholu w opiniach na potrzeby wymiaru sprawiedliwości stosuje się rachunek prospektywny.

W oparciu o badania własne przeprowadzono porównanie najczęściej spotykanych sposobów wykonywania obliczeń prospektywnych stosowanych przez różnych biegłych. Analiza uzyskanych wyników obliczeń potwierdziła ustalenia z pierwszego porównania ww. modeli obliczeń (Sekuła i in., 2020). Najlepszą korelację uzyskano dla metody 1, stosowanej w IES (eliminacja liczona od momentu rozpoczęcia konsumpcji bez uwzględniania deficytu alkoholowego) oraz metody 3a zakładającej czas wchłaniania 30 minut i deficyt alkoholowy na poziomie 10%. Modele te sprawdzają się najlepiej niezależnie od tego, czy konsumpcja alkoholu odbyła się na czczo czy po posiłku oraz bez względu na to, jakiego rodzaju napój alkoholowy był spożywany. Najgorszą korelację uzyskano natomiast dla metod 2c i 3c, które uwzględniają czas wchłaniania 90 minut i ewentualnie deficyt alkoholowy na poziomie 10%.