



**MATEMATICKO-FYZIKÁLNÍ
FAKULTA**
Univerzita Karlova

BAKALÁRSKÁ PRÁCA

Roman Králik

Kombinácia sensometrických a optometrických skúšok a analýz

Katedra pravděpodobnosti a matematické statistiky

Vedúci bakalárskej práce: prof. RNDr. Jaromír Antoch, CSc.

Konzultant bakalárskej práce: RNDr. Petr Gabriel, Ph.D.

Študijný program: Obecná matematika

Praha 2023

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval(a) samostatně a výhradně s použitím citovaných pramenů, literatury a dalších odborných zdrojů. Tato práce nebyla využita k získání jiného nebo stejného titulu.

Beru na vědomí, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorského zákona v platném znění, zejména skutečnost, že Univerzita Karlova má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle §60 odst. 1 autorského zákona.

V dne

Podpis autora

Chcel by som v prvom rade poďakovať pánovi profesorovi Jaromírovi Antochovi za ochotu, všetok čas a podnetné pripomienky, ktoré mi počas písania práce venoval. Ďalej pánovi doktorovi Petrovi Gabrielovi za pomoc a rady pri organizácii a vyhodnocovaní degustácií. Taktiež chcem poďakovať koleji Budeč za zapožičané priestory a všetkým dobrovoľníkom, ktorí sa zúčastnili výskumu, menovite Evče B., Filipovi P., Kačke F., obom Tomášom K., Eve Š., Lucií P., Zdenkovi R., Ivke P., Báre H., Lucií H., Samovi R., Kláre H., Samuelovi Š., Markovi R., Martinovi D., Anne D., Mišovi Ch., Kubovi J., Ondrovi H., Ondrovi J., Nikče B., Honzovi B., Mišovi P., Martinovi R., Viktorovi H., Zuzke Z., Paťovi M., Adamovi Š., Honzovi Š., Albertovi Z., Emme K., Kájí P., Pavlovi J., Natálií Z., Eliške V., Marekvi B., Honzovi Z. a Marcelovi F. Na záver by som chcel poďakovať mojej rodine a priateľom, ktorí ma počas celého štúdia podporovali.

Názov práce: Kombinácia sensometrických a optometrických skúšok a analýz

Autor: Roman Králik

Katedra: Katedra pravdepodobnosti a matematické statistiky

Vedúci bakalárskej práce: prof. RNDr. Jaromír Antoch, CSc., Katedra pravdepodobnosti a matematické statistiky

Konzultant bakalárskej práce: RNDr. Petr Gabriel, Ph.D., Kabinet výuky obecné fyziky

Abstrakt: Táto práca sa snaží s využitím degustačných panelov laických konzumentov piva ukázať, ako veľmi svetlom poškodené pivo sú ľudia schopní rozpoznať od nepoškodeného. Vysvetľuje používané štatistické testy v normách a uvádza aj možnú modifikáciu, ktorú je možné uplatniť na zpresnenie výsledkov. Podarilo sa nám zistiť, že už po absolvovaní jednej trojuholníkovej skúšky sú v dôsledku únavy posudzovateľov a nasýtenia vzduchu letenkovou pachutou výsledky všetkých nasledujúcich skúšok skreslené. To aj napriek tomu, že miestnosť, kde sa degustácie odohrávali, bola priestranná, prevetrávaná a posudzovatelia mali medzi sebou zabezpečené rozostupy väčšie ako 3 metre. Porovnali sme optometrické merania absorpcií vzoriek dvoch druhov pív s výsledkami organizovaných degustácií. Na ich základe sme spravili náš odhad hranice rozpoznateľnosti, teda takého poškodenia piva, že štatisticky významné množstvo posudzovateľov je schopné rozpoznať rozdiely medzi poškodeným a nepoškodeným pivom. Spravili sme tak pre pivo Pilsner Urquell, kde sme odhadli, že je vyššia ako 0.067 (a.u.) zmeny absorpcie, tak aj pre pivo Excelent 11°, kde sme odhadli, že hranica leží medzi 0.046 a 0.067 (a.u.) zmeny absorpcie. Pri porovnaní výsledkov podľa pohlavia musíme konštatovať, že ženy boli v rozpoznávaní svetelne poškodeného piva o niečo lepšie ako muži. Ďalej sme prišli na to, že absorpcia fľaše a zmena absorpcie, pre nás miera poškodenia piva, spolu korelujú. Výberový pearsonov korelačný koeficient vyšiel rovný 0.826. Celkovo táto práca môže slúžiť ako návod na plánovanie a organizovanie podobných sensometrických skúšok, štatistického testovania a analýzu výsledkov.

Kľúčové slová: Sensometrická analýza, optometrická analýza, trojuholníková skúška, COLORTURB, testy rozdielu a podobnosti, Thurstonov model

Title: Combining sensometric and optometric tests and analyses

Author: Roman Králik

Department: Department of Probability and Mathematical Statistics

Supervisor: prof. RNDr. Jaromír Antoch, CSc., Department of Probability and Mathematical Statistics

Consultant: RNDr. Petr Gabriel, Ph.D., Laboratory of General Physics Education

Abstract:

In this research, we embarked on an in-depth exploration to discern the moderately damaged beer from its pristine counterparts by non-professional consumers in a controlled social setting. The approach adopted was underpinned by the application of rigorous statistical testing methodologies, with an underlying potential for further refinement to yield enhanced insights. Crucially, the study identified that the outcomes could be skewed by phenomena such as taster fatigue and the saturation of ambient air with light-struck odours, thereby necessitating their consideration. It occurs even though tests were taken in spacious, well ventilated, room and each taster had enough, 3 meters at least, space around him. The research innovatively combines the optometric measurements of beer samples' absorption with the findings from structured tastings, enabling assumptions to be made about the absolute threshold of beer damage that a statistically significant number of tasters is able to reliably detect. For Pilsner Urquell, the threshold of perceptible damage was delineated to be in excess of 0.067 absorption units (a.u.). For Excellent 11°, the damage threshold was calculated to fall within the range of 46 to 67 thousandths of absorption units (a.u.). When we compared results divided by gender, we concluded that women can better recognize damaged beer. Interestingly, a positive correlation was observed between the inherent absorption of a beer bottle and the subsequent change in absorption as a damage indicator. This correlation was quantified by a robust Pearson's correlation coefficient of 0.826. This study, therefore, contributes to existing knowledge by offering a comprehensive guide for the orchestration of analogous tastings, the application of statistical analysis techniques, and the interpretation of the resulting data. Overall, this research can serve as a guide how to plan, organise and analyse results of similar sensometric tests.

Keywords: Sensometric analysis, optometric analysis, triangle test, tests for difference and similarity, COLORTURB, Thurstonian model

Obsah

Zoznam použitých skratiek	3
Úvod	4
1 Príprava experimentu	6
1.1 Charakterizácia schopnosti svetla poškodiť pivo	6
1.2 Popis experimentu	6
1.2.1 Vzorky piva	6
1.2.2 Meracia aparatura	7
1.2.3 Metóda optickej detekcie svetelného poškodenia piva	7
1.2.4 Výpočet miery poškodenia piva	7
1.2.5 Osvetlovací adaptér	8
1.3 Príprava vzoriek	8
2 Použité sensometrické skúšky	10
2.1 Úvod	10
2.2 Trojuholníková skúška	10
2.2.1 Princíp	10
2.2.2 Štatistický princíp testu pre rozdiel	10
2.2.3 Štatistický princíp testu pre podobnosť	13
2.2.4 Thurstonovský prístup	16
2.3 Modifikovaná trojuholníková skúška	19
2.3.1 Princíp	20
2.3.2 Detaily testu	20
3 Organizácia skúšok	23
3.1 Degustačné skúšky so svetelne poškodeným pivom	23
3.2 Problémy spojené s organizáciou degustačných skúšok a návrhy ich riešení	24
3.2.1 Organizačné problémy	24
3.2.2 Návrhy riešení	24
4 Výsledky degustačných skúšok	26
4.1 Prvá skúška – P10, P15 a P05	26
4.2 Druhá skúška – P0 a P30	28
4.3 Tretia skúška – P0 a P20	30
4.4 Štvrtá skúška – E0, E20	31
4.5 Piata skúška – PD34	33
4.6 Šiesta skúška – E30	35
4.7 Siedma skúška – E50	36
4.8 Ôsma skúška – PD56	38
4.9 Deviata skúška – P40 a P20	39
4.10 Desiata skúška – P10	41

5	Analýza výsledkov	43
5.1	Únava posudzovateľov	43
5.2	Štatistické problémy	44
5.2.1	Malé množstvo posudzovateľov	44
5.2.2	Heterogenita členov	44
5.3	Výsledky štatistických testov trojuholníkových skúšok a analýza absorpcií	45
5.3.1	Analýza absorpcií vzoriek piva Pilsner Urquell	46
5.3.2	Analýza absorpcií vzoriek piva Excelent 11°	47
5.3.3	Štatistické výsledky pre test pre podobnosť	49
5.4	Vplyv pohlavia	49
5.5	Korelácia zmeny absorpcie a priepustnosti fľaše	50
	Záver	52
	Zoznam použitej literatúry	53

Zoznam použitých skratiek

T	-	transmisia žiarenia
R	-	intenzita žiarenia svetelného zdroja
$Abs_{v,t}$	-	absorpcia vzorku v v čase t
P_{v,t_1,t_2}	-	svetelné poškodenie vzorku v medzi časmi t_1 a t_2
\mathbb{N}	-	prirodzené čísla
\mathbb{R}	-	reálne čísla
\ln	-	prirodzený logaritmus
n.v.	-	náhodná veličina
$f_{Alt(p)}$	-	hustota alternatívneho rozdelenia s parametrom p
$Bi(n, p)$	-	binomické rozdelenie s počtom pokusov n a pravdepodobnosťou úspechu p
$N(0, 1)$	-	normované normálne rozdelenie
$X \sim Alt(p)$	-	náhodná veličina X má alternatívne rozdelenie s parametrom p .
\tilde{p}	-	p-hodnota
$P(A)$	-	pravdepodobnosť javu A
$P(A B)$	-	pravdepodobnosť javu A podmienená javom B
$P(N(0,1) < t)$	-	pravdepodobnosť, že náhodná veličina s rozdelením $N(0,1)$ je menšia ako číslo t
α	-	hladina testu
β	-	sila testu
CLV	-	centrálna limitná veta
u_α	-	α -kvantil rozdelenia $N(0,1)$
$\Phi(x)$	-	distribučná funkcia rozdelenia $N(0,1)$ v bode x
$\mathbb{E}(X)$	-	stredná hodnota náhodnej veličiny X
$cov(X, Y)$	-	kovariancia náhodných veličín X a Y
$L(X_1, \dots, X_n)$	-	vierohodnosť náhodného vektoru $(X_1, \dots, X_n)^T$
$\ln L _{x,y}$	-	log-vierohodnosť s dosadenými parametrami x a y .
Λ	-	pomer vierohodností
\overline{X}_n	-	aritmetický priemer náhodných veličín X_1, \dots, X_n
H_0	-	hypotéza štatistického testu
H_1	-	alternatíva štatistického testu
$\hat{\rho}_n$	-	výberový korelačný koeficient
P20	-	skúška pri ktorej bola použitá vzorka piva značky Pilsner Urquell zrýchlene poškodená po dobu 20 minút

Úvod

Potraviny sa rôznymi vplyvmi kazia a znehodnocujú. U tradičného českého nápoja, piva, je to okrem prirodzeného starnutia aj ďalším výrazným vplyvom, ktorý je zákazníkmi či predajcami často podceňovaný – svetlom. V obchodoch je bežné vidieť fľaškové pivo vyložené vo výkladoch či regáloch s voľným, často veľmi intenzívnym prístupom svetla. Naskytá sa preto otázka, kedy sa pivo poškodí do takej miery, že to už zákazníci spoznajú? Táto, okrem mnohých ďalších, bola hlavná otázka, ktorou sme sa v tejto práci zaoberali.

Pivo sme zrýchlene, intenzívnym ožiarovaním poškodzovali. Výsledkom bolo „pokazené pivo“ spolu s nameranými hodnotami jeho absorpcie, teda množstvom prepusteného svetla cez fľašu, ktorá nám vie poskytnúť kvalitný obraz o miere svetelného poškodenia. Podrobnosti o zrýchlených únavových skúškach, ktoré sme použili a rolu absorpcie piva v určovaní miery jeho poškodenia, sa nachádzajú v prvej kapitole.

Po definovanom poškodení sme toto pivo nechali otestovať panelom laických degustátorov, z ktorých mnohí radi konzumujú pivo. Zaujímalo nás, či budú schopní spoznať rozdiel medzi poškodeným a nepoškodeným pivom. Na štatistické preukázanie sme použili trojuholníkovú skúšku, čo je typ sensometrickej skúšky, ktorá má za úlohu overiť, či sú posudzovatelia schopní rozpoznať rozdiely medzi rôznymi typmi výrobkov. Detaily ohľadom tohto typu skúšky a štatistiky, ktorá za ňou stojí sú popísané v druhej kapitole.

Takýchto degustačných skúšok sme realizovali v priebehu necelého pol roka viacerou. Ich organizácia bola náročná z viacerých ohľadov a museli sme sa popasovať s mnohými výzvami, na ktoré ale narazí z povahy vecí každý organizátor podobných experimentov. Organizáciu týchto skúšok a naše odporúčania približuje tretia kapitola.

Vo štvrtej kapitole približujeme detaily každej skúšky a pre každú skúšku zhrňame základne charakteristiky, ako napríklad počet zúčastnených posudzovateľov, opis použitých vzoriek a jej výsledok. Každá skúška je doplnená aj vhodným grafom vývoja absorpcie počas doby poškodzovania.

Výsledky týchto testov slúžili ako základné dáta následnej analýzy, počas ktorej sme sa snažili zodpovedať na otázky, ktoré nám v priebehu práce vyvstali. Detaily sú poskytnuté v kapitole číslo päť.

Hlavná otázka tejto práce, ktorej motivácia už bola opísaná, je nasledovná:

Po akom veľkom poškodení piva sú konzumenti schopní jednoznačne rozpoznať poškodené pivo od nepoškodeného?

Pri príprave a realizácii skúšok sa ale vyrojila plejáda ďalších, naväzujúcich a nielen štatistických otázok, na ktoré sme sa snažili odpovedať:

1. **Únava posudzovateľov.** Kedy, ak vôbec, dôjde k prirodzenej únave laických posudzovateľov a k nasýteniu priestoru letenkovým zápachom pri posudzovaní viacerých, po sebe idúcich, skúšok? Aký to má, ak vôbec, vplyv na výsledky?
2. **Vplyv pohlavia.** Má pohlavie vplyv na schopnosť rozpoznávať poškodené vzorky piva? Je možné preukázať, že ženy sú schopnejšie rozpoznávať rozdiely medzi poškodeným a nepoškodeným pivom ako muži alebo naopak?
3. **Prepojenie poškodenia a rozoznatelnosti.** Ako rýchlo sa zlepšuje schopnosť ľudí rozpoznať svetelné poškodenie piva s jeho rastúcim poškodením? Mení sa táto rýchlosť v závislosti na type piva?

4. **Korelácia medzi absorpciou fľašky a rýchlosťou poškodzovania piva.** Závisí nejakým spôsobom rýchlosť, akou sa pivo poškodzuje na intenzite svetla, ktoré fľaška absorbuje?

Ďalšie problémy pre štatistiku, na ktoré sme v priebehu práce narazili:

1. **Veľmi malé množstvo posudzovateľov.** Je obecné náročné zorganizovať degustácie s veľkým počtom posudzovateľov. Nám sa podarilo zorganizovať degustácie s najviac desiatimi účastníkmi, čo neumožňovalo používať asymptotické testy a zároveň sme nemohli dosiahnuť tak presné výsledky, ako s vyšším počtom posudzovateľov.
2. **Relatívna heterogenita členov.** V degustačnom paneli, keďže bol tvorený laickými konzumentami piva, sa vyskytovali posudzovatelia rôznych schopností. V každej skúške sa zloženie panelu menilo a je preto obtiažne stanoviť, kedy by laickí posudzovatelia vo všeobecnosti dokázali rozpoznať poškodené vzorky.

1. Príprava experimentu

1.1 Charakterizácia schopnosti svetla poškodiť pivo

Pôsobením svetelného žiarenia vzniká v pive nežiadúca, tzv. letenková pachúť (anglicky „lightstruck“), ktorá sa prejavuje nielen páľčivou chuťou, ale aj špecifickou vôňou. Na jej vzniku hrá nezanedbateľnú úlohu riboflavín (vitamín B2), ktorý pôsobí ako fotosenzibilizátor, čo znamená, že absorbuje svetlo vo viditeľnej časti svetelného spektra a umožňuje prenos jeho energie na ďalšie zlúčeniny obsiahnuté v pive. Postupnosť následných chemických reakcií vedie k tvorbe 3-methylbut-2-en-1-thiolu (MBT), látky zodpovednej za letenkovú pachúť. Ludovo sa tomu hovorí, že pivo „žlkné“. Chuťová aktivita MBT je veľmi vysoká. Čistá látka má páľčivý, prenikavý zápach označovaný aj ako „skunkový“, kvôli jeho podobnosti so zápachom tchorých výlučkov. Potenciál svetelného zdroja vytvárať túto príchuť v pive, je daný prienikom emisného spektra svetelného zdroja a absorpčného spektra riboflavínu. Najrýchlejšie k degradácii piva dochádza po ožiarení svetlom na vlnovej dĺžke 450nm, čo na svetelnom spektre predstavuje modré svetlo. Letenková pachúť sa rozvíja len pri intenzívnejšom pôsobení svetla. Po krátkom osvite a následnom uskladnení fľaše v tme k trvalému poškodeniu nedochádza (Gabriel a kol., 2022; Škoda, 2014).

Je známe, že zelené sklo prepúšťa oproti hnedému oveľa viac svetla, preto v pivách uskladnených v tomto type skla dochádza k tvorbe MTB rýchlejšie. Avšak zelené fľašky sú oveľa obľúbenejšie u zákazníkov, preto mnoho pivovarov, medzi inými aj napríklad Plzeňský, stáča do nich svoje pivo (Škoda, 2014).

Keďže bežné fľaškové pivo od stočenia po samotné skonzumovanie urazí dlhú cestu, vyhnúť sa kontaktu so svetlom je preňho takmer nemožné. Zákazníci preto konzumujú už svetelne poškodené pivo, čo spôsobuje, že drvivá väčšina konzumentov je už do istej miery zvyknutá na určitú hladinu letenkovej pachuti v pive bez toho, aby im pivo prišlo „skazené“.

1.2 Popis experimentu

1.2.1 Vzorky piva

Na degustáciach bolo celkovo použitých päť šarží piva. Dve šarže, ďalej označené ako šarža A a šarža C, boli značky Pilsner Urquell v zelených fľašiach a pochádzali z Plzeňského pivovaru. Boli dodané priamo z výrobných linky a prenesené s dôrazom na zabránenie kontaktu so svetlom. Tretia šarža bola zakúpená v supermarkete, zabalená v krabici bez prístupu svetla, tiež značky Pilsner Urquell v zelených fľašiach (ďalej označené ako šarža B).

Štvrtá a piata šarža, ďalej označené ako šarža E a F, boli pivá značky Excelent 11°, zadovážené z výrobných linky a prenesené bez kontaktu so svetlom. Jedná sa takisto o vzorky piva v zelených fľašiach. Pivo Excelent 11° je chemicky aj obsahom riboflavínu veľmi podobné pivu Pilsner Urquell, avšak fľaša je trochu odlišná.

1.2.2 Meracia aparátúra

Meranie vzoriek bolo realizované prostredníctvom prototypu prístroja COLORTURB, vyvinutého na katedre chemické fyziky a optiky Univerzity Karlovej v rámci projektu TAČR. Aparatúra premeriava vzorky priamo v komerčných fľašiach bez nutnosti ich predošlého otvorenia.

Pre minimalizáciu vplyvu skla fľaše na výsledky merania je vzorka umiestnená v komore s destilovanou vodou a počas merania dochádza k jej definovanému otáčaniu. Namerané hodnoty transmisie T zaznamenávajú zmenu intenzity meracieho lúču svetla vzorkou v dôsledku absorpcie a rozptylu svetla vo vzorke. Ako vysielateľ optického žiarenia sú v prístroji inštalované LED-ky nezávisle svietiace na troch pásmach vlnových dĺžok. Používali sme výlučne modré svetlo so strednou hodnotou vlnovej dĺžky 450nm a pološírkou 20nm (Škoda, 2014).

1.2.3 Metóda optickej detekcie svetelného poškodenia piva

Na Matematicko-fyzikální fakulte Univerzity Karlovej bola vyvinutá a overená metóda bezkontaktnéj optickej detekcie svetelného poškodenia piva. Pri osvetlení piva dochádza k rozpadu riboflavínu (RF) na fotoprodukty. Absorpčné spektrum fotoproduktov sa líši od spektra RF. Najväčší rozdiel je v okolí vlnovej dĺžky 450nm, kde má RF absorpčné maximum, ktoré sa u vznikajúcich fotoproduktov nenachádza. V diplomovej práci J. Škodu bola overená korelácia medzi mierou svetelného poškodenia vzorky, poklesom koncentrácie RF vo vzorke a poklesom absorpcie vzorky v modrej časti spektra v okolí vlnovej dĺžky 450nm. Pre merania zmeny absorpcie priamo v komerčnej fľaši bola použitá aparátúra COLORTURB. Miera svetelnej degradácie vzorky pri osvetlení nezávisí len na intenzite dopadajúceho svetla, ale aj na vlastnostiach vzorky, priepustnosti fľaše a obsahu RF. Aj pri osvetlení vzorky v osvetlovači s konštantným svetelným výkonom sa miera poškodenia vzorky líši podľa jeho vlastností. Pokles absorpcie vzorky v okolí vlnovej dĺžky 450nm budeme brať ako mieru svetelnej degradácie vzorky (Škoda, 2014; Gabriel a kol., 2022).

1.2.4 Výpočet miery poškodenia piva

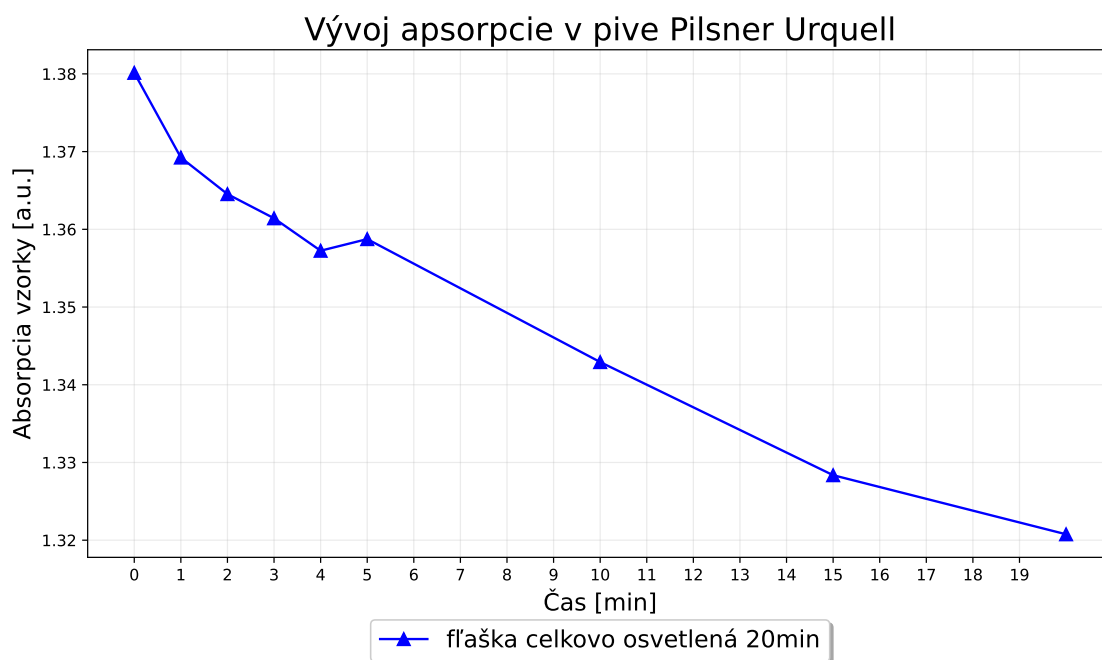
Namerané hodnoty transmisie T sa môžu meniť v dôsledku nestability svetelného zdroja, čo zohľadňujeme vo výpočte používaním pomeru hodnôt T/R , kde R je hodnota intenzity žiarenia svetelného zdroja meraná referenčným detektorom. Ako referenčný bod sa používajú hodnoty namerané premeraním destilovanej vody (označené ako T_0, R_0). Absorpcia $Abs_{v,t}$ [a.u.] (jednotka absorpcie) vzorku v v čase t sa potom určí vzťahom

$$Abs_{v,t} = \log_{10} \left(\frac{T_{v,t}}{R_{v,t}} \cdot \frac{R_0}{T_0} \right) (a.u.).$$

Absorpcia referenčnej vzorky sa vypočíta dosadením T_0 a R_0 za $T_{v,0}$ a $R_{v,0}$ (Škoda, 2014). Našimi meracími aparátúrami sa dopúšťame chyby merania na úrovni 0.005 (a.u.).

Pre určenie veľkosti svetelného poškodenia sa sledujú zmeny v absorpciách. Táto zmena sa vypočíta jednoducho ako rozdiel absorpcií pred a po poškodení. Preto celkové svetelné poškodenie P_{v,t_1,t_2} vzorku v medzi časmi t_1 a t_2 , $t_2 > t_1$, sa vypočíta ako

$$P_{v,t_1,t_2} = Abs_{v,t_2} - Abs_{v,t_1} (a.u.).$$



Obr. 1.1: Ukážka vývoja absorpcie piva Pilsner Urquell po celkovom osvetlení 20 minút s medzimeraniami. Trojuholníky označujú hodnotu absorpcie v danom časovom okamžiku a hodnoty medzi nimi sú lineárne interpolované.

1.2.5 Osvetľovací adaptér

Na definované poškodenie vzoriek svetlom vzoriek bol použitý špeciálny osvetľovací adaptér. Adaptér je tvorený plastovým tubusom, ktorý má vo vnútornej časti po obode v celej jeho šírke umiestnený pás trojfarebných RGB LED diód (R - červená, G - zelená, B - modrá). Pomocou ovládacieho zdroja je možné nezávislo meniť intenzitu svetla jednotlivých farieb a tým regulovať intenzitu a zafarbenie výsledného svetla. Všetky definované poškodenia pre účely tejto práce boli vykonávané čisto modrým svetlom na vlnovej dĺžke 450nm (Škoda, 2014).

1.3 Príprava vzoriek

Pre potreby tejto práce boli definované poškodené viaceré vzorky piva v zelených fľašiach. Pred samotným poškodením sme si vzorky pri zadovážení novej šarže pripravili nasledujúcim postupom:

1. **Označenie fliaší.** Ako prvé bolo potrebné všetky vzorky poriadne označiť. Označovali sme ich na vrchnák a hrdlo fľaše písmenom označujúcim typ šarže a číslom vzorky.
2. **Odstránenie etikiet na fľašiach vzoriek.** Vzorky boli po označení odmočené vo vode a každej fľaši bola odstránená etiketa pre zväčšenie ožiarovanej plochy.
3. **Úvodné premeranie.** Vzorky boli následne premerané v meracej aparatúre pre nameranie ich počiatočnej absorpcie. Pri vykonávaní nášho experimentu sme každú vzorku premerali zakaždým trikrát a hodnoty sme následne spriemerovali.



Obr. 1.2: Ukážka osvetľovacieho aparátu.

4. **Uskladnenie v chladničke.** Vzorky boli nakoniec uložené do tmavej chladničky pri teplote 0°C .

Po premyslení experimentu samotná príprava poškodených vzoriek prebiehala nasledovne:

1. **Ohrev vzoriek na izbovú teplotu.** Pre presnejšie merania boli vzorky vložením do vody izbovej teploty zohriate na izbovú teplotu.
2. **Premeranie vzoriek.** Následne boli vzorky premerané v meracej aparatúre pre získanie hodnôt ich počiatkových absorpcií. Pri vykonávaní nášho experimentu sme pre spresnenie meraní každú vzorku premerali trikrát a hodnoty následne spriemerovali.
3. **Poškodenie vybraných vzoriek.** Vybrané vzorky boli vložené do osvetľovacieho aparátu a po predom určenú dobu ožiarované svetlom na vlnovej dĺžke 450nm.
4. **Opätovné premeranie vzoriek.** Pre získanie lepšieho obrazu o vývoji poškodenia piva boli vzorky priebežne po vopred určených časových intervaloch opätovne premeriavané v meracej aparatúre. Za vhodný časový interval sme na základe našich experimentov považovali čas 5 minút počas prvých 20 minút poškodzovania a 10 minút neskôr.
5. **Uskladnenie vzoriek.** Po poškodení vzoriek na požadovanú úroveň boli vzorky uskladnené v tmavej miestnosti bez prístupu svetla a jeden deň ponechané na izbovej teplote.

2. Použité sensometrické skúšky

2.1 Úvod

Sensometrické skúšky slúžia ako základný kameň sensorickej analýzy: „Vedeckej metódy používanej na vyvolanie, meranie, analýzu a interpretáciu vnemov na produkty vnímané cez zmysly zraku, čuchu, hmatu, chute a sluchu“ (Stone a Sidel, 2004).

Ich princípom je určiť, akou veľkou mierou sú posudzovatelia medzi nimi schopní rozpoznať rozdiely. Pracovali sme výlučne s tzv. trojuholníkovou skúškou vo forme opísanej v norme, keďže táto metóda je bežne v praxi používaná a je navyše o nej známe, že vie v porovnaní s inými metódami pri menšom počte posudzovateľov lepšie detekovať jemné rozdiely. To sa ukazuje ako kľúčová vlastnosť vzhľadom na problém zabezpečenia veľkého degustačného panelu (ČSN EN ISO 4120, 2009).

2.2 Trojuholníková skúška

2.2.1 Princíp

Trojuholníková skúška je sensometrická skúška, pri ktorej overujeme, či sú dva produkty vnímané ľuďmi rozdielne alebo, naopak, podobne. Majme $n \in \mathbb{N}$ posudzovateľov, ktorí sa zúčastnili skúšky. Počas nej každému posudzovateľovi predložíme tri vzorky, dva pochádzajú z rovnakého produktu a jeden je odlišný. Tieto vzorky sú mu predkladané v náhodnom poradí. Úlohou posudzovateľa je určiť, ktorá z predložených vzoriek je tá odlišná. Posudzovateľ musí vždy odpovedať, aj keď netuší alebo si svojou voľbou nie je istý. Do poznámky ale môže poznamenať, ako veľmi si pri svojej odpovedi dôveroval. Jedná sa preto o tzv. nútenú (anglicky „forced“) rozlišovaciu skúšku.

Štatistickým výstupom pre konkrétneho posudzovateľa je realizácia náhodnej veličiny s alternatívnym rozdelením s parametrom $p \in (0,1)$, kde p predstavuje pravdepodobnosť správneho rozlíšenia odlišnej vzorky. Pre začiatok predpokladáme, že pre každého posudzovateľa je parameter p rovnaký, teda hovoríme, že panel posudzovateľov je **homogénny**. Ak by posudzovateľ odpovedal náhodne, môžeme predpokladať, že $p = 1/3$, čo je pravdepodobnosť, že posudzovateľ správne vyberie odlišnú vzorku spomedzi celkových troch. Ak by bol schopný vzorky rozlíšiť bez toho, aby hádal, platí, že pravdepodobnosť rozlíšenia správnej vzorky p bude väčšia ako $1/3$. Budeme modelovať odpoveď i -tého posudzovateľa náhodnou veličinou $X_i \sim \text{Alt}(p)$.

Podľa toho, či chceme ukázať, že posudzovatelia vedia nájsť medzi vzorkami rozdiel alebo vnímajú vzorky podobne, volíme buď test pre rozdiel alebo test pre podobnosť.

2.2.2 Štatistický princíp testu pre rozdiel

Nech $n \in \mathbb{N}$ je počet posudzovateľov, ktorí sa zúčastnili trojuholníkovej skúšky. Pre zopakovanie, odpoveď i -tého posudzovateľa je možné popísať náhodnou veličinou $X_i \sim \text{Alt}(p)$, kde p predstavuje rovnakú pravdepodobnosť, ako bola popísaná vyššie. Ak bude posudzovateľ odlišnú vzorku vyberať náhodne, $p = 1/3$, naopak ak je schopný vzorky rozlíšiť, p bude väčšia ako $1/3$.

$$\text{Model: } \mathcal{F}_p = \{f_{\text{Alt}(p)}, p \in (0,1)\}.$$

Praktický význam testovaného parametru: Pravdepodobnosť, že náhodný posudzovateľ správne určí rozdielnu vzorku.

Hypotéza a alternatíva:

$$H_0 : p = 1/3 \quad \text{proti} \quad H_1 : 1/3 < p < 1. \quad (2.1)$$

Testová štatistika (presný test):

$$T_n = \sum_{i=1}^n X_i.$$

Za platnosti nulovej hypotézy platí $T_n \sim Bi(n, 1/3)$. Proti nulovej hypotéze svedčia vysoké hodnoty štatistiky T_n .

Zvoľme hladinu testu $\alpha \in (0, 1)$.

Kritický obor (presný test): Kritický obor presného testu pre štatistiky T_n je tvaru $[c_\alpha, n]$, kde c_α je najmenšie prirodzené číslo splňujúce:

$$P(T_n \geq c_\alpha) = \sum_{i=c_\alpha}^n \binom{n}{i} \cdot (1/3)^i \cdot (2/3)^{n-i} \leq \alpha.$$

P-hodnota (presný test):

$$\tilde{p} = P(Bi(n, 1/3) \geq t_n) = 1 - G_0(t_n - 1),$$

kde G_0 je distribučná funkcia rozdelenia $Bi(n, 1/3)$ a t_n je napozorovaná hodnota testovej štatistiky T_n .

Sila testu (presný test, označené ako PT): Silofunkcia testu $\beta_n^{PT}(\pi)$ pre $\pi \in [\frac{1}{3}, 1)$ je rovná:

$$\beta_n^{PT}(\pi) = P_\pi(T_n \geq c_\alpha) = \sum_{i=c_\alpha}^n \binom{n}{i} \cdot \pi^i \cdot (1 - \pi)^{n-i}.$$

Pre veľké hodnoty n je možné využiť asymptotický test založený na CLV. My sme asymptotický test nemohli použiť, pretože pri každej realizovanej skúške bol počet posudzovateľov $n \leq 10$. Uvádzame ho ale pre úplnosť.

Testová štatistika (asymptotický test):

$$S_n = \left(\sum_{i=1}^n X_i - \frac{n}{3} \right) / \sqrt{\frac{2n}{9}}.$$

Kritický obor (asymptotický test): Keďže asymptoticky za platnosti nulovej hypotézy $S_n \sim N(0, 1)$ a zamietame pre veľké hodnoty testovej štatistiky, kritický obor bude tvaru $[u_{1-\alpha}, \infty)$, kde $u_{1-\alpha}$ je $(1 - \alpha)$ -kvantil $N(0, 1)$.

Teda H_0 zamietame, ak:

$$S_n \geq u_{1-\alpha} \iff \sum_{i=1}^n X_i \geq \frac{n}{3} + u_{1-\alpha} \cdot \sqrt{\frac{2n}{9}}.$$

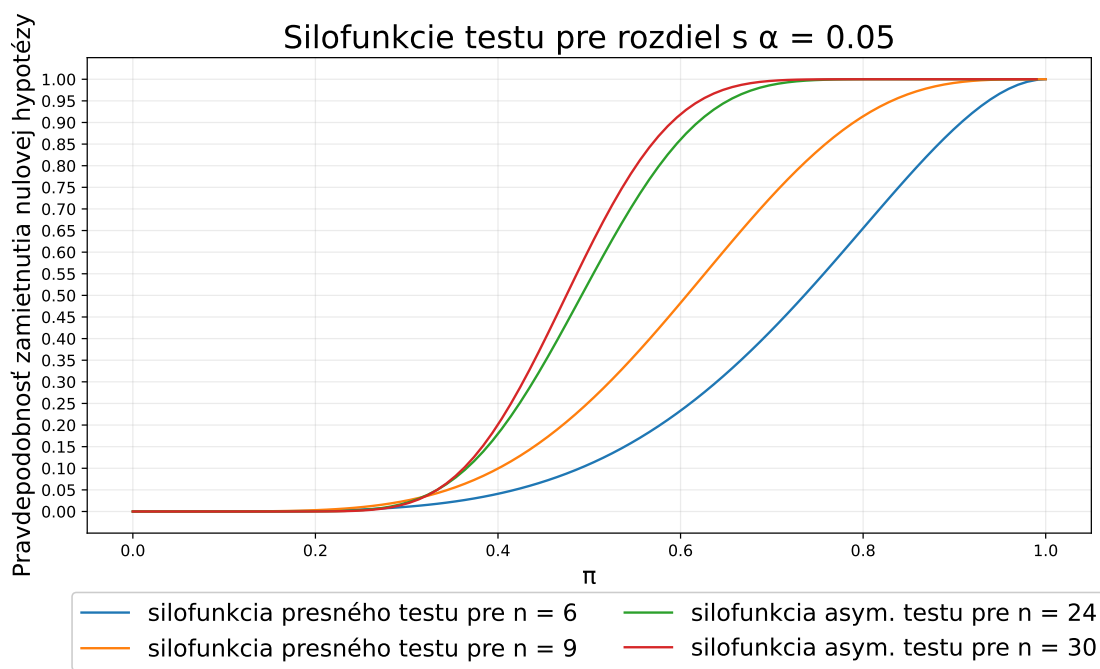
P-hodnota (asymptotický test):

$$\tilde{p} = P(N(0, 1) \geq s_n) = 1 - \Phi(s_n),$$

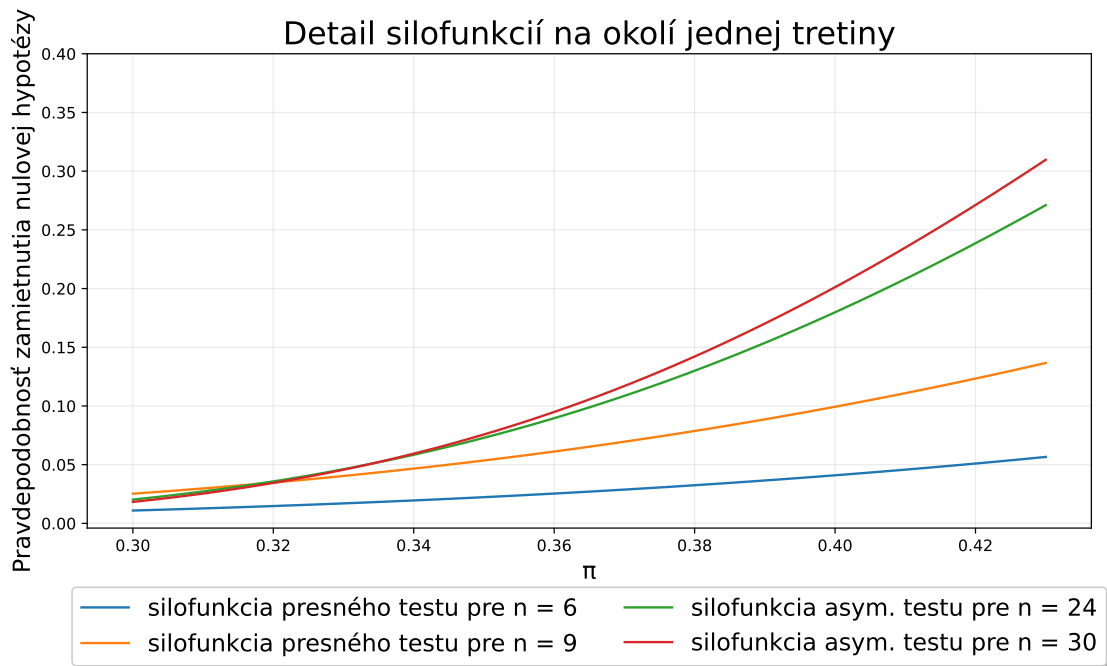
kde Φ je distribučná funkcia rozdelenia $N(0,1)$ a s_n je napozorovaná hodnota testovej štatistiky S_n .

Sila testu (asymptotický test, označené ako AT): Silofunkcia $\beta_n^{AT}(\pi)$ pre $\pi \in [\frac{1}{3}, 1)$ je asymptoticky rovná:

$$\begin{aligned} \beta_n^{AT}(\pi) &= P_\pi(S_n \geq u_{1-\alpha}) = P_\pi\left(\sum_{i=1}^n X_i \geq n \cdot 1/3 + u_{1-\alpha} \cdot \sqrt{n \cdot 1/3(1-1/3)}\right) = \\ &= P_\pi\left(\frac{\sum_{i=1}^n X_i - n\pi}{\sqrt{n \cdot \pi(1-\pi)}} \geq \frac{n \cdot (1/3 - \pi)}{\sqrt{n \cdot \pi(1-\pi)}} + u_{1-\alpha} \cdot \frac{\sqrt{n \cdot 1/3(1-1/3)}}{\sqrt{n \cdot \pi(1-\pi)}}\right) \approx \\ &\approx 1 - \Phi\left(\sqrt{n} \cdot \frac{(1/3 - \pi)}{\sqrt{\pi(1-\pi)}} + u_{1-\alpha} \cdot \sqrt{\frac{1/3(1-1/3)}{\pi(1-\pi)}}\right). \end{aligned}$$



Obr. 2.1: Silofunkcie testu pre rozdiel s $\alpha = 0.05$.



Obr. 2.2: Detail silofunkcií na okolí jednej tretiny.

2.2.3 Štatistický princíp testu pre podobnosť

Podobne, ako v predchádzajúcej sekcii, nech $n \in \mathbb{N}$ označuje počet posudzovateľov, ktorí sa zúčastnili degustačnej skúšky. Náhodnou veličinou X_i budeme modelovať odpoveď i -tého posudzovateľa.

Teraz, ak existujú vnímateľné rozdiely medzi danými typmi vzoriek, existuje pravdepodobnosť $p_0 \in (\frac{1}{3}, 1)$ správneho rozlíšenia náhodným posudzovateľom. Túto pravdepodobnosť budeme považovať za hranicu toho, kedy ešte považujeme dané vzorky podobné a môžeme ju voliť rôzne, podľa toho, do akej miery považujeme vzorky za podobné.

Norma, bez akéhokoľvek vysvetlenia, pracuje namiesto testu o p_0 s testom o p_d , ktorý určuje podiel posudzovateľov, ktorí sú schopní vždy rozpoznať rozdiel medzi vzorkami (ČSN EN ISO 4120, 2009).

Pravdepodobnosť p_d môžeme interpretovať tak, že $100 \cdot p_d\%$ posudzovateľov v populácii je schopných naozaj rozlíšiť medzi vzorkami, zatiaľ čo zvyšok bude hádať. Poznamenajme ešte, že toto je len jedna z viacerých existujúcich interpretácií.

V norme sa uvádza, že maximálny povolený pomer posudzovateľov p_d spadá do troch kategórií, $p_d < 0.25$ predstavujú malé hodnoty, $0.25 < p_d < 0.35$ predstavujú hodnoty strednej veľkosti a $p_d > 0.35$ predstavujú vysoké hodnoty pomeru posudzovateľov, ktorí sú schopní vždy rozlíšiť rozdiel (ČSN EN ISO 4120, 2009).

Norma uvažuje štatistický test o p_d s nulovou hypotézou a alternatívou:

$$H_0 : p_{d_0} \leq p_d < 1 \quad \text{proti} \quad H_1 : 0 \leq p_d < p_{d_0}.$$

Pre vhodné p_{d_0} je tento test ekvivalentný s testom, ktorý ďalej uvádzame.

Medzi p_0 a p_d je nasledujúci vzťah:

$$p_0 = p_d \cdot 2/3 + 1/3. \tag{2.2}$$

Dôkaz vzťahu (2.2):

Označme ako „OK“ jav, že z populácie náhodne vybraný posudzovateľ správne určí odlišnú vzorku v trojuholníkovej skúške, „PR“ ako jav, že posudzovateľ pozná rozdiel medzi vzorkami a „NR“, že nepozná rozdiel. Vyberme náhodného posudzovateľa.

Predpokladajme, že

$$P(\text{OK} \mid \text{NR}) = P(\text{„Posudzovateľ hádal“}) = 1/3.$$

Potom z Vety o úplnej pravdepodobnosti platí

$$P(\text{OK}) = P(\text{OK} \mid \text{PR})P(\text{PR}) + P(\text{OK} \mid \text{NR})P(\text{NR}).$$

Ak položíme $p_d = P(\text{PR})$, teda pravdepodobnosť, že náhodne vybraný posudzovateľ pozná rozdiel medzi dvoma vzorkami potom

$$P(\text{OK}) = 1 \cdot p_d + 1/3 \cdot (1 - p_d) = p_d \cdot 2/3 + 1/3,$$

čo je presne vzťah, ktorý sme chceli dokázať (Hopkins a Gridgeman, 1955).

□

Pre jednoduchšiu predstavu uvádzame test o parametre p_0 . Všetky vzťahy sme prepočítali podľa vzorca (2.2).

Prepočítaním maximálnych povolených pomerov posudzovateľov p_d na p_0 zistíme, že p_0 spadá do troch kategórií. Platí, že $p_0 < 0.5$ predstavujú malé hodnoty, $0.5 < p_0 < 0.56$ predstavujú hodnoty strednej veľkosti a $p_0 > 0.56$ predstavujú vysoké hodnoty pravdepodobnosti rozlíšenia správnej vzorky posudzovateľmi p_0 .

Model: $\mathcal{F}_p = \{f_{\text{Alt}(p)}, p \in (0,1)\}$.

Praktický význam testovaného parametru: Pravdepodobnosť, že náhodný posudzovateľ správne určí rozdielnu vzorku.

Hypotéza a alternatíva:

$$H_0 : p \in [p_0, 1) \quad \text{proti} \quad H_1 : p \in [\frac{1}{3}, p_0),$$

kde p_0 je nami zvolená hranica podobnosti vzoriek.

Testová štatistika (presný test):

$$V_n = \sum_{i=1}^n X_i.$$

Proti nulovej hypotéze budú svedčiť nízke hodnoty V_n . Za platnosti nulovej hypotézy platí $V_n \sim \text{Bi}(n, q)$, $q \in [p_0, 1)$. Keďže sa jedná o jednostranný test, stačí uvažovať hraničnú hodnotu q a teda môžeme predpokladať, že $V_n \sim \text{Bi}(n, p_0)$, lebo inak o to skôr budeme zamietat.

Zvoľme hladinu testu $\alpha \in (0, 1)$. Pre úplnosť dodáme, že v norme sa v tomto teste označuje hladina významnosti ako β namiesto α , ako sme zvyknutí z klasických prednášok alebo literatúry. Pre dodržanie konvencie budeme aj v tomto teste označovať hladinu významnosti ako α .

Kritický obor (presný test): Kritický obor presného testu bude tvaru $[0, c_\alpha]$, kde c_α je najväčšie prirodzené číslo splňujúce:

$$P(V_n \leq c_\alpha) = \sum_{j=0}^{c_\alpha} \binom{n}{j} \cdot p_0^j \cdot p_0^{n-j} \leq \alpha.$$

P-hodnota (presný test):

$$\tilde{p} = P(Bi(n, p_0) \leq v_n) = G_0(v_n),$$

kde G_0 je distribučná funkcia rozdelenia $Bi(n, 1/3)$ a v_n je napozorovaná hodnota testovej štatistiky V_n .

Silofunkcia testu (presný test, ďalej označované ako PT): Sila $\beta_n^{PT}(\pi)$ pre $\pi \in [\frac{1}{3}, 1)$ je rovná:

$$\beta_n^{PT}(\pi) = P_\pi(V_n \leq c_\alpha) = \sum_{i=0}^{c_\alpha} \binom{n}{i} \cdot \pi^i \cdot (1 - \pi)^{n-i}.$$

Pre veľké hodnoty n je možné využiť asymptotický test založený na CLV. V našom prípade asymptotický test nebolo možné použiť, pretože pri každej realizovanej skúške bol počet posudzovateľov $n \leq 10$. Uvádzame ho tu ale pre úplnosť.

Testová štatistika (asymptotický test):

$$W_n = \left(\sum_{i=1}^n X_i - n \cdot p_0 \right) / \sqrt{n \cdot p_0(1 - p_0)}.$$

Kritický obor (asymptotický test): Keďže asymptoticky platí $W_n \sim N(0,1)$ a jedná sa o jednostranný test, kritický obor bude tvaru $(-\infty, u_\alpha]$, kde u_α je α -kvantil $N(0, 1)$.

Ak to vyjadríme, tak zamietame H_0 , ak:

$$W_n \leq u_\alpha \iff \sum_{i=1}^n X_i \leq n \cdot p_0 + u_\alpha \cdot \sqrt{n \cdot p_0(1 - p_0)}.$$

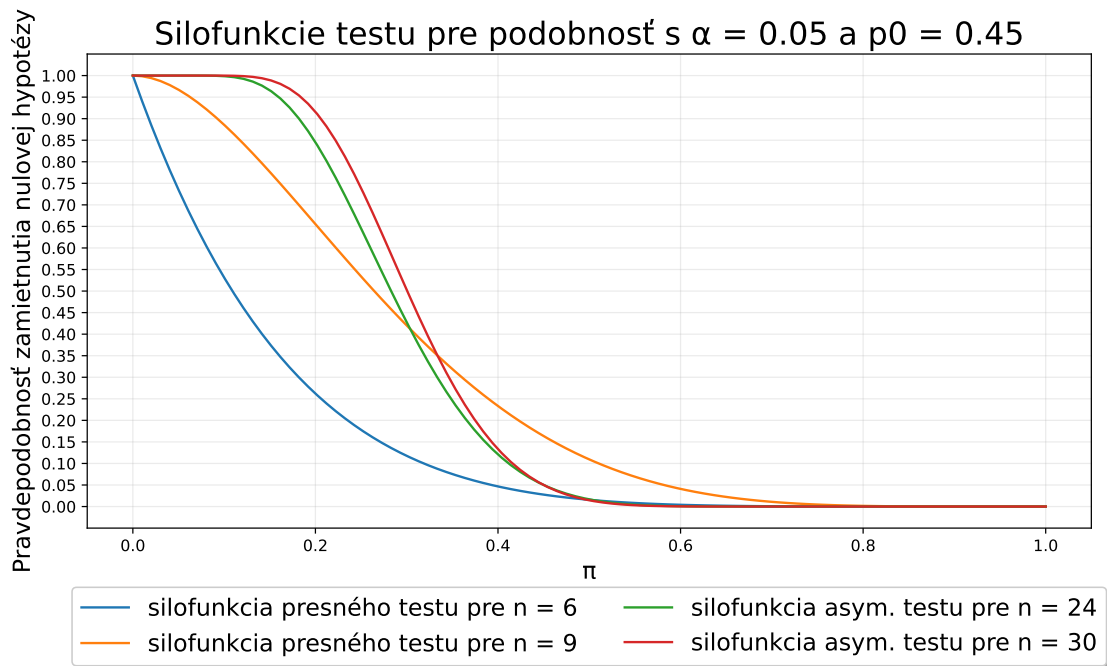
P-hodnota (asymptotický test):

$$\tilde{p} = P(N(0,1) \leq w_n) = \Phi(w_n),$$

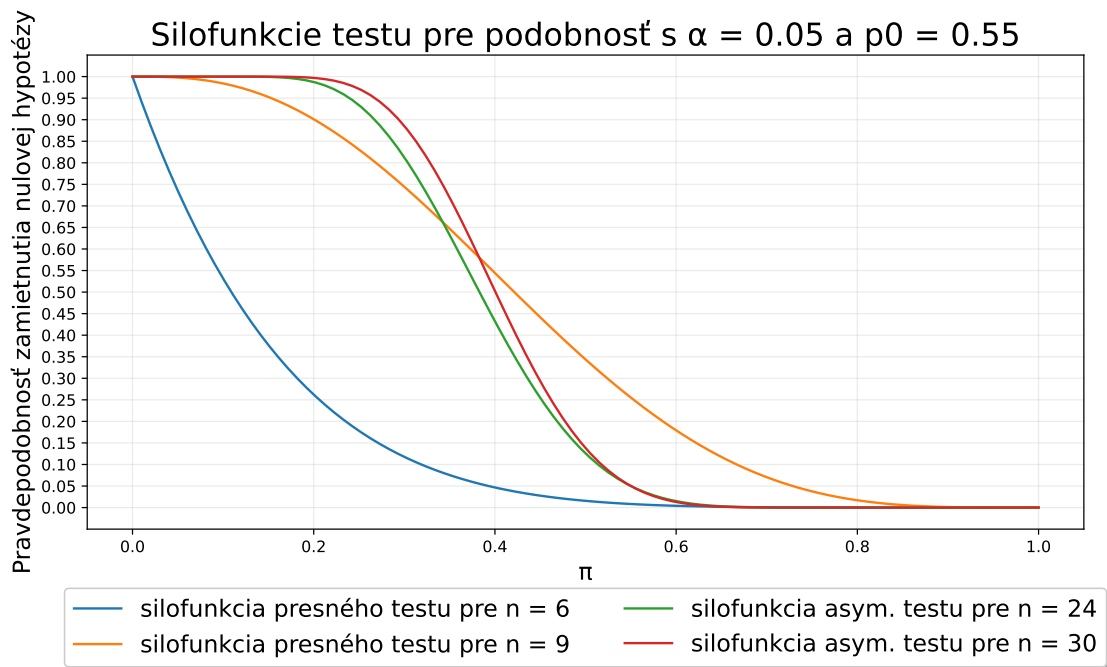
kde Φ je distribučná funkcia rozdelenia $N(0,1)$ a w_n je napozorovaná hodnota testovej štatistiky W_n .

Sila testu (asymptotický test, ďalej označované ako AT): Silofunkcia $\beta_n^{AT}(\pi)$ pre $\pi \in (\frac{1}{3}, 1)$ je asymptoticky rovná:

$$\begin{aligned} \beta_n^{AT}(\pi) &= P_\pi(W_n \leq u_\alpha) = P_\pi\left(\sum_{i=1}^n X_i \leq n \cdot p_0 + u_\alpha \cdot \sqrt{n \cdot p_0(1 - p_0)}\right) = \\ &= P_\pi\left(\frac{\sum_{i=1}^n X_i - n\pi}{\sqrt{n \cdot \pi(1 - \pi)}} \leq \frac{n \cdot (p_0 - \pi)}{\sqrt{n \cdot \pi(1 - \pi)}} + u_\alpha \cdot \frac{\sqrt{n \cdot p_0(1 - p_0)}}{\sqrt{n \cdot \pi(1 - \pi)}}\right) \approx \\ &\approx \Phi\left(\sqrt{n} \cdot \frac{(p_0 - \pi)}{\sqrt{\pi(1 - \pi)}} + u_\alpha \cdot \sqrt{\frac{p_0(1 - p_0)}{\pi(1 - \pi)}}\right). \end{aligned}$$



Obr. 2.3: Silofunkcie testu pre podobnosť s $\alpha = 0.05$ a $p_0 = 0.45$.



Obr. 2.4: Silofunkcie testu pre podobnosť s $\alpha = 0.05$ a $p_0 = 0.55$.

2.2.4 Thurstonovský prístup

Okrem modelu, ktorý je ponúkaný normou, je možné uvažovať aj tzv. Thurston-Ura model, opísaný v (Thurston, 1927a,b). Ako prvé si ale zadefinujme necentrálne F-rozdelenie.

Definice (Necentrálne χ^2 rozdelenie.) *Nech X_1, \dots, X_n sú normálne rozdelené nezávislé*

náhodné veličiny také, že pre $\forall i = 1, 2, \dots, n$ platí $\text{var}X_i = 1$ a $\mathbb{E}(X_i) = \mu_i \in \mathbb{R}$. Potom má náhodná veličina $X = \sum_{i=1}^n X_i^2$ necentrálne χ^2 rozdelenie s n stupňami voľnosti a parametrom necentrality $\lambda = \sum_{i=1}^n \mu_i^2$. Píšeme $X \sim \chi^2(n, \lambda)$.

Definice (Necentrálne F rozdelenie.) Nech $X \sim \chi^2(n, \lambda)$ a $Y \sim \chi^2(m)$ sú nezávislé náhodné veličiny. Potom rozdelenie náhodnej veličiny

$$\frac{X/n}{Y/m}$$

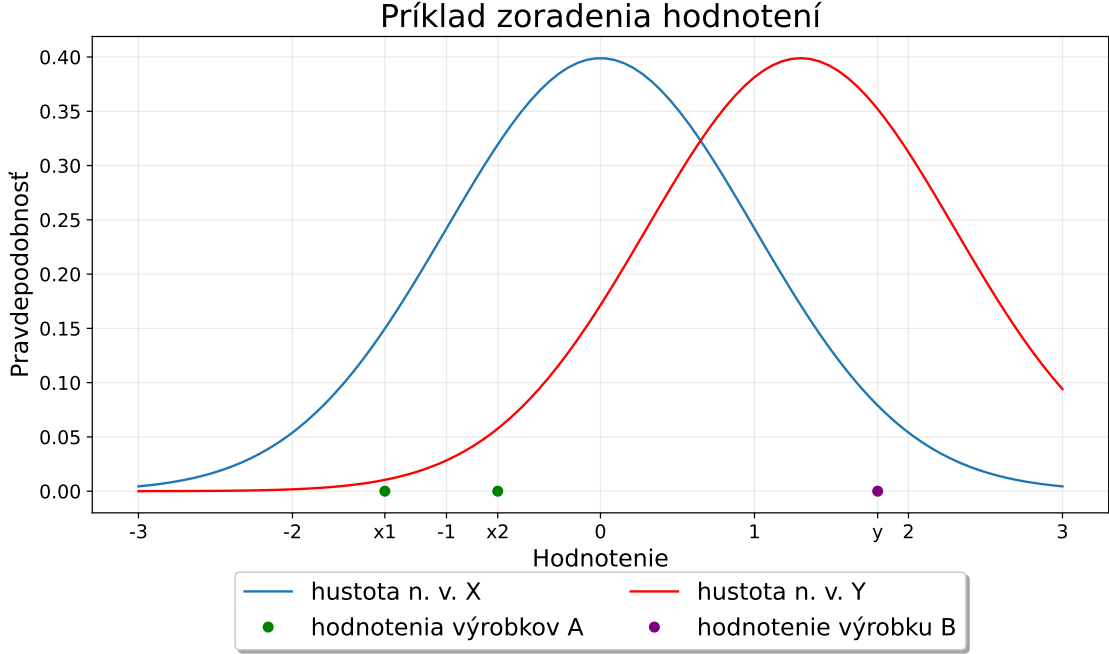
sa nazýva necentrálne (Fisherovo-Snedecorovo) F rozdelenie s n a m stupni voľnosti a parametrom necentrality λ . Značíme $F(n, m, \lambda)$.

Predpokladajme, že na trojuholníkovej skúške budeme degustovať dva druhy výrobkov, ktoré označíme ako A a B. Vzorky výrobkov A budeme označovať aj ako referenčné alebo štandardné. Ďalej predpokladajme, že máme k dispozícii dve vzorky výrobku A a jednu vzorku výrobku B. Model predpokladá, že pri hodnotení výrobku A sa realizuje náhodná veličina X , ktorá má normálne rozdelenie so strednou hodnotou $\mu_0 \geq 0$ a rozptylom $\sigma > 0$.

Podobne pri hodnotení výrobku B sa realizuje náhodná veličina Y , ktorá má normálne rozdelenie so strednou hodnotou $\mu \geq 0$ a rozptylom $\sigma > 0$, ktorý je rovnaký ako pre náhodnú veličinu X . Bez újmy na obecnosti môžeme predpokladať, že $\mu_0 = 0$, pretože nás bude zaujímať iba rozdiel stredných hodnôt náhodných veličín X a Y . Predpokladáme, že všetky tieto náhodné veličiny sú navzájom nezávislé, nakoľko predpokladáme, že každý výrobok je hodnotený nezávisle na iných.

Označme realizácie hodnotení náhodných veličín X u dvoch výrobkov A ako x_1 a x_2 a u výrobku B ako y . Tieto hodnotenia môžu byť zoradené na reálnej ose v nasledujúcich dvanástich konfiguráciách C_1, \dots, C_{12} :

$$\begin{aligned} C_1 &: \{x_1 < x_2 < y, & x_2 - x_1 < y - x_2\}; \\ C_2 &: \{x_2 < x_1 < y, & x_1 - x_2 < y - x_1\}; \\ C_3 &: \{y < x_1 < x_2, & x_2 - x_1 < x_1 - y\}; \\ C_4 &: \{y < x_2 < x_1, & x_1 - x_2 < x_2 - y\}; \\ C_5 &: \{x_1 < x_2 < y, & y - x_2 < x_2 - x_1\}; \\ C_6 &: \{x_2 < x_1 < y, & y - x_1 < x_1 - x_2\}; \\ C_7 &: \{y < x_1 < x_2, & x_1 - y < x_2 - x_1\}; \\ C_8 &: \{y < x_2 < x_1, & x_2 - y < x_1 - x_2\}; \\ C_9 &: \{x_1 < y < x_2, & x_2 - y < y - x_1\}; \\ C_{10} &: \{x_2 < y < x_1, & x_1 - y < y - x_2\}; \\ C_{11} &: \{x_1 < y < x_2, & y - x_1 < x_2 - y\}; \\ C_{12} &: \{x_2 < y < x_1, & y - x_2 < x_1 - y\}. \end{aligned}$$



Obr. 2.5: Príklad zoradenia hodnotení posudzovateľom. Na tomto konkrétnom obrázku sú hodnotenia zoradené v konfigurácii C_1 .

Predpokladáme, že posudzovateľ odpovie správne, ak sú hodnotenia výrobku A pri sebe bližšie ako hodnotenie výrobku B a jedného z výrobkov A. Toto nastane práve v prvých štyroch konfiguráciách C_1, C_2, C_3 a C_4 . Tieto štyri disjunktné javy sa dajú spolu súhrne zhrnúť do jedného javu (dôkaz v (Cichrová, 2021)):

$$T = \left\{ \left| y - \frac{x_1 + x_2}{2} \right| > \frac{3}{2} |x_1 - x_2| \right\}. \quad (2.3)$$

Teraz, ak zdefinujeme nové náhodné veličiny U, V nasledovne, platí, že majú rozdelenia:

$$U = \frac{1}{\sigma} \sqrt{\frac{2}{3}} \left(Y - \frac{X_1 + X_2}{2} \right) \sim N\left(\frac{\mu}{\sigma} \sqrt{\frac{2}{3}}, 1 \right), \quad V = \frac{1}{\sigma} \frac{3}{2} \sqrt{\frac{2}{3}} (X_1 - X_2) \sim N(0, 3).$$

Ďalej označme pravdepodobnosť správnej odpovede u trojuholníkovej skúšky ako p_s . Potom platí

$$p_s = P(T) = P(|U| > |V|) = P\left(\frac{|U|}{|V|/\sqrt{3}} > \sqrt{3} \right) = P\left(\frac{U^2}{V^2/3} > 3 \right). \quad (2.4)$$

Pretože $\mathbb{E}(V) = 0$ a zároveň $\mathbb{E}X_1 = \mathbb{E}X_2 = 0$, tak z nezávislosti Y, X_1 a X_2 platí

$$\begin{aligned} \text{cov}(U, V) &= \mathbb{E}(UV) = \mathbb{E}\left(\frac{1}{\sigma} \sqrt{\frac{2}{3}} \left(Y - \frac{X_1 + X_2}{2} \right) \cdot \frac{1}{\sigma} \frac{3}{2} \sqrt{\frac{2}{3}} (X_1 - X_2) \right) \\ &= \frac{1}{\sigma^2} \mathbb{E}\left(Y - \frac{X_1 + X_2}{2} \right) \cdot (X_1 - X_2) \\ &= \frac{1}{\sigma^2} \mathbb{E}\left(Y \cdot X_1 - Y \cdot X_2 - X_1 \cdot \frac{X_1 + X_2}{2} + X_2 \cdot \frac{X_1 + X_2}{2} \right) = 0. \end{aligned} \quad (2.5)$$

Z toho vyplýva, že náhodné veličiny U a V sú nezávislé.

Ak označíme $\delta = \mu/\sigma$, náhodná veličina $U^2/(V^2/3)$ má necentrálne F-rozdelenie s 1 a 1 stupňami voľnosti a parametrom necentrality $2\delta^2/3$. Teda v Thurstone – Ura modeli pravdepodobnostný model závisí iba na jednom parametre δ (Bradley a Harmon, 1964).

Na základe tohto modelu je možné vykonať štatistický test o testovaní rozdielu a podobnosti pre trojuholníkovú skúšku.

Test pre rozdiel testuje rozdiel v hodnotení výrobkov, testujeme hypotézu $\mu_0 = 0$ proti alternatíve $\mu_0 > 0$. Test pre podobnosť, takisto ako predtým, predpokladá určenie hranice podobnosti μ_h , do ktorej ešte považujeme výrobky za podobné. Potom testujeme hypotézu $\mu_h \leq \mu_0 < 1$ proti alternatíve $0 \leq \mu_0 < \mu_h$.

Teraz sa pokúsime ukázať náznak dôkazu ekvivalencie štatistických testov z druhej kapitoly a testov založených na Thurstone – Ura modeli. Ak položíme v (2.4) $p_s = 1/3$, dostaneme rovnosť

$$1/3 = p_s = P\left(\frac{U^2}{V^2/3} > 3\right) = 1 - F_0(3; 1, 1, 2\delta^2/3), \quad (2.6)$$

kde F_0 je distribučná funkcia necentrálneho F rozdelenia s 1 a 1 stupňom voľnosti s parametrom necentrality $2\delta^2/3$ v bode $x = 3$.

Ďalej uvažujme $H(\delta) = 1 - F_0(3, 1, 1, 2\delta^2/3)$ ako funkciu parametru necentrality $2\delta^2/3 \in [0, \infty)$. Táto funkcia je z definície necentrálneho F-rozdelenia rastúca a spojitá (v nule iba sprava) na $[0, \infty)$ s hodnotami medzi $[0, 1]$. Z toho plynie, že rovnosť (2.6) musí platiť práve pre jedno δ . Po výpočte v matematickom softvare, ako je napríklad *Mathematica*, zistíme, že táto rovnosť platí práve keď je parameter necentrality rovný nule, čo je ekvivalenté s $\mu_0 = 0$. To plynie z toho, že pre $x > 0$ platí $\lim_{\delta \rightarrow 0^+} F_0(1, 1, 1, 2\delta^2/3; x) = F(1, 1; x)$, kde $F(1, 1; x)$ je distribučná funkcia F rozdelenia s 1 a 1 stupňami voľnosti. Po dosadení $x = 3$ dostaneme $F(1, 1; 3) = \frac{2}{3}$, čo rieši rovnicu (2.6) pre $p_s = 1/3$.

Z vlastností funkcie $H(\delta)$ a rovnosti (2.6) plynie, že s rastúcim parametrom necentrality $2\delta^2/3$ rastie aj pravdepodobnosť správnej odpovede v trojuholníkovej skúške. Preto štatistický test s hypotézou $\mu_0 = 0$ proti alternatíve $\mu_0 > 0$ je ekvivalentný testu pre rozdiel s hypotézou $p_s = 1/3$ a alternatívou $p_s > 1/3$.

Analogicky platí, že vieme zvoliť $\mu_h \geq 0$, pre pevné $\sigma > 0$, také, že $H(\delta) = p_h$ a testy pre podobnosť budú takisto ekvivalentné.

Tento model sa dá ďalej využiť pri realizácii nasledujúcej modifikácie trojuholníkovej skúšky, ktorá dosahuje presnejšie výsledky v porovnaní s klasickou trojuholníkovou skúškou.

2.3 Modifikovaná trojuholníková skúška

Trojuholníková skúška opísaná v predošlej sekcii sa dá ešte vylepšiť nasledujúcou modifikáciou, ktorá bola opísaná v (Bradley a Harmon, 1964). Okrem klasickej úlohy vybrať z troch predložených vzorkov jeden odlišný, dostanú navyše posudzovateľia za úlohu priradiť skóre „velkosti rozdielu“. Toto sa bežne robí na báze hrubej škály, v ktorej má posudzovateľ určiť, či sú rozdiely medzi vzorkami „malé“, „stredne veľké“, „ľahko rozpoznateľné“ alebo „extrémne“, alebo pomocou číselnej škály.

2.3.1 Princíp

Predpokladajme, že rovnako ako v Thurstone – Ura modeli hodnotenia posudzovateľov štandardných, referenčných, vzoriek môžeme modelovať náhodnou veličinou X , ktorá má normálne rozdelenie s nulovou strednou hodnotou a rozptylom $\sigma > 0$. Hodnotenia odlišnej vzorky budeme modelovať náhodnou veličinou Y s normálnym rozdelením so strednou hodnotou $\mu \geq 0$ a s rovnakým rozptylom $\sigma > 0$. Všetky tieto náhodné veličiny predpokladáme, že sú stochasticky nezávislé. Takisto, ako u klasickej trojuholníkovej skúšky, predpokladáme **homogenitu** testovacieho panelu. Uvažujme situáciu s jedným posudzovateľom a rovnako ako v Thurstone – Ura modeli označme x_1, x_2 realizácie náhodnej veličiny X pri hodnotení referenčných vzorky, a y realizáciu náhodnej veličiny Y pri hodnotení odlišnej vzorky. Rovnako ako v Thurstone-Ura modeli je možných rovnakých dvanásť kombinácií.

Ak použijeme rovnaké značenie ako pri opise Thuston – Ura modelu, tak platí, že v prípadoch C_1, C_2, C_3 a C_4 posudzovateľ zodpovie správne. Skóre, ktoré posudzovateľ priradí v skúške, ak zodpovie správne, použijeme na aproximáciu náhodnej veličiny $R = |Y - \frac{1}{2}(X_1 + X_2)|$.

Ak nastanú ostatné konfigurácie, posudzovateľ zodpovie nesprávne a skóre, ktoré posudzovateľ priradil, použijeme na modelovanie náhodnej veličiny $W = |X_1 - \frac{1}{2}(Y + X_2)|$ alebo $W = |X_2 - \frac{1}{2}(Y + X_1)|$.

Skóre, ktoré posudzovatelia priradili v skúškach budú pre nás predstavovať realizáciu postupnosti náhodných veličín $R_1, R_2, \dots, R_m, W_1, W_2, \dots, W_n$ (ďalej iba R-W postupnosť), kde $N = m + n$ je celkový počet posudzovateľov. Na základe toho vykonáme štatistický test s nulovou hypotézou $\mu = 0$ proti alternatíve $\mu > 0$. Za platnosti nulovej hypotézy platí, že medzi danými vzorkami neexistuje žiaden vnímateľný rozdiel (náhodne veličiny modelujúce ich hodnotenia majú rovnaké rozdelenie). Tento test je, ako sme už naznačili, ekvivalentný testu o pravdepodobnosti správneho rozhodnutia náhodného posudzovateľa s nulovou hypotézou $p_s = 1/3$ proti alternatíve $p_s > 1/3$.

2.3.2 Detaily testu

Budeme postupujeme použitím metódy maximálnej vierohodnosti na združenú hustotu rozdelení R-W postupnosti, vytvorením odhadov pre parametre μ/σ a σ a použitím štatistického testu o pomere vierohodností.

Pre jednoduchosť zápisu najskôr definujme funkciu

$$I(x) = (2\pi)^{-1/2} \int_0^x e^{-u^2/2} du = \Phi(x) - 1/2. \quad (2.7)$$

Ako prvé potrebujeme získať združenú hustotu rozdelení R-W postupnosti, ktorú je možné získať z podmienených rozdelení R a W za podmienok, že x_1, x_2 a y sú v konfiguráciách C_1, \dots, C_{12} .

Keďže predpokladáme, že ak budú realizácie náhodných veličín X_1, X_2 a Y v konfiguráciách C_1 , tak posudzovateľ odpovie správne a stačí nám uvažovať hustotu R podmienenú nastaním tejto konfigurácie. Z predpokladu nezávislosti X_1, X_2 a Y a ich normálneho rozdelenia dostávame podmienenú hustotu v tvare:

$$f(x_1, x_2, y | C_1) = \frac{(2\pi\sigma^2)^{-3/2}}{P(C_1)} e^{-(x_1^2 + x_2^2 + (y-\mu)^2)/2\sigma^2} \quad (2.8)$$

$$x_1 < x_2 < y, \quad x_2 - x_1 < y - x_2, \quad -\infty < x_1, x_2, y < \infty,$$

kde $P(C_1)$ je pravdepodobnosť, že x_1, x_2 a y budú zoradené v konfigurácii C_1 .

Ďalej hustotu transformujeme ortogonálnou transformáciou na hustotu s novými premennými r, s a t , kde $r = (2y - x_1 - x_2)/\sqrt{6}$, $s = (y + x_1 + x_2)$ a $t = (x_1 - x_2)/\sqrt{2}$. Vidíme, že z definície R platí, že $R = \sqrt{6}r/2$. Naintegrovaním premenných s, t získame marginálne rozdelenie r a príslušnou transformáciou získame podmienenú hustotu R pre $0 \leq R < \infty$ v tvare:

$$f(R | C_1) = \frac{(3\pi\sigma^2)^{-1/2}}{P(C_1)} e^{-(R-\mu)^2/3\sigma^2} I(\sqrt{2}R/3\sigma). \quad (2.9)$$

Zo symetrie konfigurácií C_1 a C_2 plynie, že podmienená hustota $f(R | C_2)$ má tiež tvar (2.9). Ďalej $f(R | C_3)$ a $f(R | C_4)$ majú takisto tvar (2.9), s jediným rozdielom, že μ je v predpise hustoty nahradené za $-\mu$. Z týchto štyroch hustôt je možné odvodiť aj podmienenú hustotu R za podmienky správnej odpovede posudzovateľa, čo vieme, že tvorí zjednotenie štyroch disjunktných javov C_1, C_2, C_3 a C_4 . Veta o úplnej pravdepodobnosti a nezávislosť javov C_1, \dots, C_4 nám dáva pre $0 \leq R < \infty$:

$$\begin{aligned} f(R | T) &= \sum_{i=1}^4 P(C_i) f(R | C_i) / p_s = \\ &= \frac{4(3\pi\sigma^2)^{-1/2}}{p_s} \cdot I(\sqrt{2}R/3\sigma) \cdot \cosh(2\mu R/3\sigma^2) \cdot e^{-(R^2+\mu^2)/3\sigma^2}, \end{aligned} \quad (2.10)$$

kde $p_s = \sum_{i=1}^4 P(C_i)$ a T označuje zjednotenie javov C_1, C_2, C_3 a C_4 ako v (2.3).

Okrem podmienenej združenej hustoty R potrebujeme aj združenú hustotu W pre zvyšné konfigurácie C_5, C_6, \dots, C_{12} . Združená hustota X_1, X_2 a Y je rovnaká ako v (2.8). Podobne, v prípade nastania konfigurácie C_5 použijeme ortogonálnu transformáciu $r = (2x_1 - x_2 - y)/\sqrt{6}$, $s = (y + x_1 + x_2)$ a $t = (y - x_2)/\sqrt{2}$. Teraz z definície W vidno, že $W = -\sqrt{3}r/\sqrt{2}$. Analogicky ako v predchádzajúcom prípade dospejeme k tomu, že pre $0 \leq W < \infty$

$$f(W | C_5) = \frac{(3\pi\sigma^2)^{-1/2}}{P(C_5)} e^{-(W-\mu/2)^2/3\sigma^2} \left[I\left(\frac{\sqrt{2}W}{3\sigma} - \frac{\mu}{\sigma\sqrt{2}}\right) + I\left(\frac{\mu}{\sigma\sqrt{2}}\right) \right]. \quad (2.11)$$

Opäť, zo symetrie a drobnou modifikáciou vieme odvodiť podmienené hustoty pre ďalšie konfigurácie.

- $f(W | C_6)$ má predpis rovnaký ako v prípade (2.11),
- $f(W | C_7)$ má tvar ako (2.11), jedine s nahradeným $-\mu$ za μ ,
- $f(W | C_8)$ má rovnaký predpis ako $f(W | C_7)$.

Analogickým spôsobom vieme získať $f(W | C_9)$ a rovnakými krokmi dostaneme pre $0 \leq W < \infty$:

$$f(W | C_9) = \frac{(3\pi\sigma^2)^{-1/2}}{P(C_9)} e^{-(W-\mu/2)^2/3\sigma^2} \left[I\left(\frac{\sqrt{2}W}{3\sigma} + \frac{\mu}{\sigma\sqrt{2}}\right) - I\left(\frac{\mu}{\sigma\sqrt{2}}\right) \right]. \quad (2.12)$$

Analogicky vieme odvodiť zo vzorca (2.12) aj ďalšie podmienené hustoty:

- $f(W | C_{10})$ má rovnakú formu ako (2.12),
- $f(W | C_{11})$ má tvar ako (2.12), jedine s nahradeným $-\mu$ za μ ,
- $f(W | C_{12})$ má rovnaký predpis ako pre $f(W | C_{11})$.

Hustota W , podmienená nesprávnou odpoveďou (označíme ako N), má použitím Vety o úplnej pravdepodobnosti obdobne tvar ako pri (2.10) pre $0 \leq W < \infty$:

$$f(W | N) = \frac{4(3\pi\sigma^2)^{-1/2}}{1 - p_s} \cdot e^{-(W^2 + \mu^2/4)/3\sigma^2} \cdot \cosh\left(\frac{\mu W}{3\sigma^2}\right) \left[I\left(\frac{\sqrt{2}W}{3\sigma} + \frac{\mu}{\sigma\sqrt{2}}\right) + I\left(\frac{\sqrt{2}W}{3\sigma} - \frac{\mu}{\sigma\sqrt{2}}\right) \right]. \quad (2.13)$$

Teraz, keď už máme napočítané potrebné hustoty, môžeme sa vrátiť naspäť k problému vyhodnocovania modifikovanej trojuholníkovej skúšky použitím metódy maximálnej vierohodnosti.

Pre pripomenutie predpokladáme, že trojuholníkovej skúšky sa zúčastnilo N posudzovateľov, ktorí zaznamenali skóre rozdielov $R_1, R_2, \dots, R_m, W_1, W_2, \dots, W_n$, kde $m + n = N$. Vierohodnostná funkcia pre túto postupnosť náhodných veličín môže byť zapísaná za predpokladu nezávislosti náhodných veličín R - W postupnosti (čo platí, pretože predpokladáme, že posudzovatelia priradujú skóre nezávisle na sebe), ako:

$$L(R_1, \dots, R_m, W_1, \dots, W_n) = p_s^m \left[\prod_{i=1}^m f(R_i | T) \right] \cdot (1 - p_s)^n \left[\prod_{i=1}^n f(W_i | N) \right].$$

Na testovanie použijeme štatistický test pomerov vierohodností. Našou nulovou hypotézou bude $\delta = 0$ (čo je ekvivalentné s $\mu = 0$ a $p_s = 1/3$). Aby sme dokázali vypočítať testovaciu štatistiku pre náš prípad, potrebujeme napočítať hodnoty $\ln L |_{\hat{\delta}, \hat{\sigma}}$ a $\ln L |_{0, \bar{\sigma}}$. Odhady parametrov $\delta = \mu/\sigma$, $\hat{\sigma}$ a $\bar{\sigma}$ vieme získať metódou maximálnej vierohodnosti, najjednoduchšie za pomoci moderného matematického softwaru, ako je napríklad *Mathematica*.

Ak označíme Λ pomer vierohodností, potom využitím testu o pomere vierohodností dostávame testovú štatistiku

$$T_n = -2 \ln \Lambda = -2[\ln L |_{0, \bar{\sigma}} - \ln L |_{\hat{\delta}, \hat{\sigma}}], \quad (2.14)$$

ktorá má asymptoticky chí-kvadrát rozdelenie s jedným stupňom voľnosti. Vysoké hodnoty testovej štatistiky znamenajú veľké odchylky od nulovej hypotézy $\delta = 0$ alebo ekvivalentne, $p_s = 1/3$, a teda budeme pre ne zamietť na zvolenej hladine $\alpha \in (0,1)$.

V našej práci sa nám nepodarilo nazbierať dostatok dát na realizáciu tohto modifikovaného testu, ale v nasledujúcich skúškach určite odporúčame túto modifikovanú verziu testu využiť.

3. Organizácia skúšok

3.1 Degustačné skúšky so svetelne poškodeným pivom

V priebehu decembra 2022 až apríla 2023 prebehlo celkovo až desať degustačných skúšok. Všetky, až na jednu, sa konali v priestoroch internátu Budeč, Wenzigová 20, Praha 2.

Drvivá väčšina degustácií bola vykonaná v prostredí telocvične internátu, kde bol zároveň zabezpečený dostatočný priestor všetkým posudzovateľom (odporúčajú sa minimálne trojmetrové rozstupy medzi posudzovateľmi). Dôvodom poskytnutia dostatočného priestoru posudzovateľom je rýchle nasýtenie vzduchu miestnosti letenkovým zápachom, čo má za následok zoslabenie schopnosti rozlíšiť piva, pretože práve letenkový zápach je najvýraznejším indikátorom poškodeného piva. Jedna skúška bola vykonaná na záhrade a jedna v spoločenskej miestnosti internátu Budeč. Posledná skúška sa uskutočnila v knižnici jezuitského internátu.

Posudzovatelia pochádzali z radov študentov, prevažne ubytovaných na internáte Budeč. Vekové rozpätie bolo 20 až 27 rokov. Na skúškach sa zúčastnilo počtom medzi päť až desať posudzovateľov. V degustačnom paneli sa nachádzali muži aj ženy a snažili sme sa degustácie, pokiaľ to len bolo možné, čo najviac genderovo vyvážiť, aby sme boli schopní, mimo iné, odpovedať na otázku, ktoré pohlavie je lepšie v rozoznávaní svetelne poškodeného piva.

Tieto skúšky mali za cieľ otestovať na populácii študentov schopnosť rozpoznať svetelne poškodené piva, ktoré boli poškodené svetlom na rôzne úrovne. Vedúci panelu bol autor práce Roman Králik.

Degustácia prebiehala vykonaním jednej až maximálne troch trojuholníkových skúšok opísaných v norme (ČSN EN ISO 4120, 2009). V každej skúške boli účastníkom podané tri vzorky, z ktorých, okrem jednej skúšky, dve boli rovnaké a jedna rozdielna. Úlohou posudzovateľov bolo určiť rozdielnú vzorku. Každý účastník dostal poháre zamiešané v inom, náhodnom, poradí.

Po každej skúške nasledovala krátka, päť minút trvajúca, prestávka so súčasným vetraním miestnosti, aby vzduch nebol nasýtený letenkovým zápachom. Účastníkom bol pre neutralizovanie chutí ponúkaný suchý rožok, pri neskorších skúškach bol podávaný k rožkom aj syr a uhorka.

Každý z posudzovateľov dostal na začiatku testovania nasledujúce inštrukcie:

„Ochutnejte vzorky zleva doprava. Dva vzorky jsou si podobné, jeden je rozdílný. Napište dolu číslo vzorku odlišného od ostatních. Pokud si nejste jist, zaznamenejte váš nejlepší odhad; můžete vedle zaznamenat, že šlo o odhad.“ (ČSN EN ISO 4120, 2009)

Okrem týchto inštrukcií neboli účastníkom zadané žiadne pokyny navyše.

Posudzovatelia sa museli rozhodnúť aj napriek tomu, že sa im žiaden ako odlišný nejavil. V literatúre sa tieto skúšky označujú ako tzv. nútené (anglicky „forced“).

3.2 Problémy spojené s organizáciou degustačných skúšok a návrhy ich riešení

3.2.1 Organizačné problémy

Pri organizácii degustačných skúšok sme sa stretli s viacerými organizačnými problémami. Poznamenajme, že na ne z princípu povahy experimentu narazí každý organizátor podobných skúšok. Jednalo sa o:

- **Financie a zdroje.** Aby sa mohla skúška vykonať, bolo potrebné v prvom rade zabezpečiť vzorky, miesto a odporúča sa zabezpečiť aj degustačné sústa pre posudzovateľov. Na každú z týchto položiek bolo potrebné alokovať dostatok financií a zdrojov.
- **Príprava vzoriek.** Deň pred vykonaním skúšky bolo potrebné vzorky pripraviť. K tomu je nutné mať potrebnú aparatúru na definované poškodzovanie a meranie vzoriek.
- **Miesto.** Prostredie realizácie degustačnej skúšky musí byť dostatočne rozľahlé na to, aby posudzovatelia mali dostatok priestoru a neovplyvňovali ich zápachy iných vzoriek.
- **Posudzovatelia.** Ďalšou neoddeliteľnou súčasťou organizácie degustačnej skúšky sú posudzovatelia. Je potrebné zohnať, ideálne genderovo vyváženú, skupinu posudzovateľov ochotných doraziť na skúšku v určený čas.
- **Normy.** Skúšky prebiehali podľa návodu uvedeného v norme. Tieto normy neuvádzajú dostatočne podrobne vysvetlenie detailov skúšky, čo môže mať za následok nesprávny postup pri ich organizovaní.
- **Skladovanie.** Vzorky je potrebné uchovávať v tme pri teplote 0°C, aby nedochádzalo k starnutiu a samovoľnému svetelnému poškodeniu piva.

3.2.2 Návrhy riešení

V nasledujúcich riadkoch uvádzame, ako sme sa vysporiadali s problémami uvedenými vyššie, čo zároveň slúži ako návrh riešení týchto problémov.

- **Financie a zdroje.** Podarilo sa nám zabezpečiť si sponzora, ktorý nám pomohol uhradiť náklady spojené s organizáciou skúšok. Testované vzorky nám zabezpečil Plzenský pivovar.
- **Príprava vzoriek.** Pri spolupráci s katedrou chemickej fyziky a optiky Univerzity Karlovej sme dostali prístup k potrebným prístrojom, ktoré katedra vlastní na experimentálne účely.
- **Miesto.** Miesto sme sa snažili vybrať s ohľadom na blízkosť k posudzovateľom. Ako najpraktickejšie riešenie sa nám ukázalo prenajať si telocvičňu na pražskom internáte Budeč, keďže väčšina posudzovateľov pochádzala práve z radov jeho ubytovaných.

- **Posudzovatelia.** Posudzovateľov sme sa snažili motivovať predovšetkým možnosťou otestovať svoje schopnosti v rozlišovaní pív a novou skúsenosťou. Oslovovali sme známych a ochotných ľudí v našom okolí.
- **Normy.** Pre lepšie pochopenie noriem a ich použitie sme použili opis, ktorý poskytla vo svojej diplomovej práci Nela Rychterová (Rychterová, 2019). Takisto sme si pre lepšie pochopenie sami pred vykonaním skúšok všetky vzťahy a vzorce odvodili a dokázali.
- **Skladovanie.** Vzorky sme skladovali v špeciálnej chladničke, ktorá bola poskytnutá katedrou chemickej fyziky a optiky Univerzity Karlovej. Je ale možné použiť aj komerčnú chladničku po správnom nastavení mraziarenského priestoru. Ideálna teplota skladovania je okolo 0°C .

4. Výsledky degustačných skúšok

Dáta boli získané realizáciou desiatich panelových degustácií, ktorých opis priebehu, použitých vzoriek a prítomných posudzovateľov, spolu s výsledkami, sa nachádzajú v tejto kapitole. Skúšky sú zoradené chronologicky.

Skúšky sú označené veľkými písmenami pre typ piva, ktoré sa v nich testovalo. P značí vzorky piva Pilsner Urquell, ktoré boli zrýchlene poškodené, E označuje vzorky piva Excelent 11°, tiež zrýchlene poškodeného, a PD vzorky piva Pilsner Urquell poškodené dlhodobou prirodzeným svetlom. Číslica za nimi označuje čas osvetlenia danej vzorky, ktorý je určený v minútach pri zrýchlenom poškodení a v dňoch pri dlhodobom poškodení. Napríklad P10 značí skúšku, v ktorej bola použitá vzorka piva Pilsner Urquell, ktorá bola zrýchlene poškodená osvetlením po dobu 10 minút.

Všetky hodnoty absorpcií, ktoré v tejto kapitole uvádzame, sú očistené od absorpcie fliaš. Tie sme namerali napustením destilovanej vody do prázdnych fliaš a odmeraním ich absorpcií. Treba poznamenať, že tieto hodnoty sa pre každú fľašu líšia. Medzi jednotlivými meraniami v grafoch boli hodnoty meraní lineárne interpolované.

Štatisticky významným množstvom posudzovateľov budeme rozumieť také množstvo posudzovateľov, že na hladine významnosti $\alpha = 0.05$ sme schopní zamietnuť test pre rozdiel z druhej kapitoly. Ak štatisticky významné množstvo posudzovateľov je schopné správne rozlíšiť poškodené pivo, budeme hovoriť, že sa panelu podarilo rozlíšiť odlišnú vzorku. V opačnom prípade budeme hovoriť, že sa to panelu nepodarilo. Vyhodnocovaním štatistických testov sa ešte budeme zaoberať neskôr v piatej kapitole.

4.1 Prvá skúška – P10, P15 a P05

Skúška prebiehala vykonaním troch po sebe idúcich trojuholníkových skúšok. Po každej skúške nasledovala krátka, 5 minút trvajúca, prestávka so súčasným vyvetraním miestnosti. Účastníkom bol po celý čas trvania skúšky ponúkaný suchý rožok na neutralizovanie chutí. V každom kole skúšky boli účastníkom podané tri vzorky, z ktorých dve boli vždy referenčné a jedna svetelne poškodená. V prvom kole bola účastníkom podaná vzorka so strednou (ožiarená po dobu 10 minút), v druhom kole s najvyššou (ožiarená 15 minút) a v poslednom s najnižšou mierou poškodenia (ožiarená 5 minút). Každý účastník dostal poháre zamiešané v inom, náhodnom, poradí.

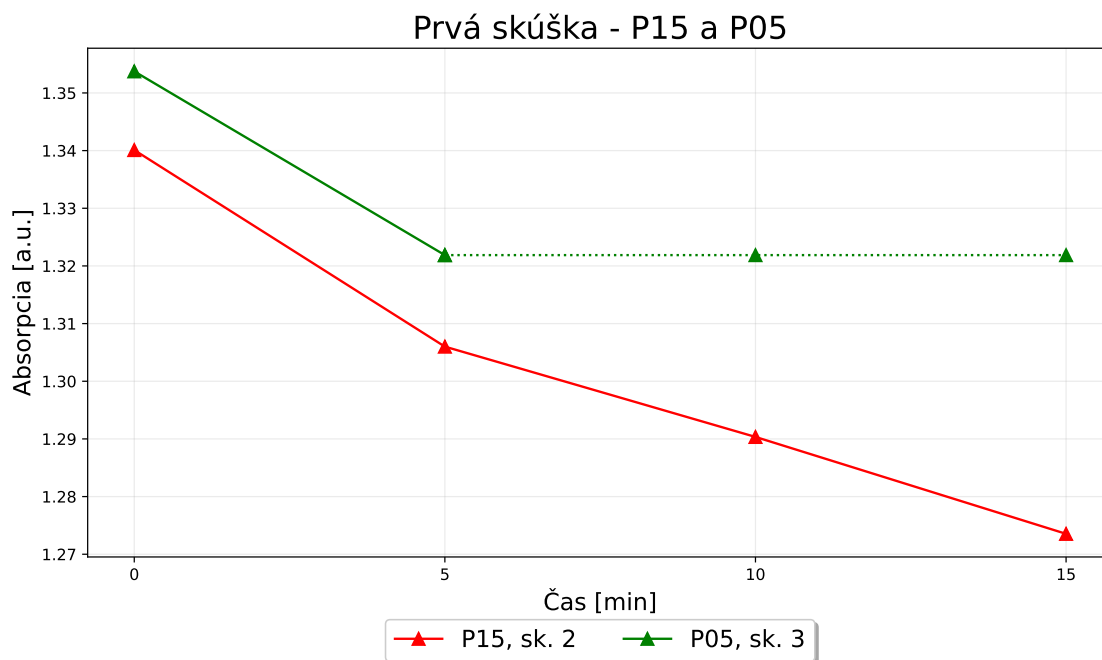
Na skúške bolo celkovo použitých deväť vzorkov piva Pilsner Urquell pochádzajúcich zo šarže A. Vzorky boli odložené v tmavej chladničke pri teplote 0°C. Šesť z nich, tzv. referenčné, boli chránené pred žiarením akéhokoľvek druhu a deň pred skúškou zohriate na izbovú teplotu. Zostávajúce tri boli deň pred skúškou definovane poškodené ožiarovaním, prvé 5 minút, druhé 10 minút a posledné 15 minút.

Testovací panel tvorilo šesť laických konzumentov piva – traja muži a tri ženy vo veku 21-25 rokov.

Testovanie sa uskutočnilo 7. 12. 2022 v telocvični internátu Budeč, Wenzigova 20, Praha 2. Každý účastník skúšky mal k dispozícii vlastný stôl, vzdialený od ostatných účastníkov aspoň 3 metre.

Graf zobrazuje vývoj absorpcie poškodených vzoriek. Sú označené rôznou farbou, červenou pre druhé a zelenou pre tretie kolo skúšky. Dáta pre referenčné vzorky a pre vzorku poškodenú 10 minút degustovaných v prvom kole chýbajú. Vzorka použitá v treťom kole bola ožiarená len po dobu 5 minút, pre úplnosť je uvedená ďalej v grafe s hodnotou

absorpcie nameranej v čase 5 minút bodkovanou čiarou. Body merania sú vyznačené trojuholníkmi.



Obr. 4.1: Vývoj absorpcií v pivách použitých v prvej skúške.

Tabuľka zobrazuje podrobné výsledky skúšok v chronologickom poradí. Pod typom skúšky sa nachádza zmena absorpcie poškodovanej vzorky. V prípade P10 nám chýba počiatková hodnota absorpcie, preto jej zmenu nie sme schopní napočítať. Pre lepšiu predstavu ale uvádzame aproximáciu vypočítanú nahradením počiatkovej absorpcie za hodnotu, ktorú mala iná vzorka z rovnakej šarže, ktorá zároveň mala rovnakú hodnotu absorpcie po 10 minútach osvetľovania. V tabuľke je táto hodnota označená ako (A). Účastníci odpovedali nasledujúcim spôsobom:

Výsledok 1. panelovej degustácie				7. 12. 2022	
Charakteristiky		Poškodenie			
Účastník číslo	Pohlavie	P10 (A)	P15	P05	
		-0,056 (a.u.)	-0,067 (a.u.)	-0.032 (a.u.)	
1.	Žena	S	S	N	
2.	Muž	S	N	N	
3.	Žena	S	N	S	
4.	Muž	N	S	N	
5.	Muž	N	N	S	
6.	Žena	S	N	N	
Spolu		4/6	2/6	2/6	

P05, P10 a P15 označuje, že poškodené pivo bolo ožiarované 5, 10 a 15 minút. S = Správne, N = Nesprávne.

Z tabuľky je možné vidieť, že v prvom kole dokázala väčšina posudzovateľov správne odhaliť poškodené pivo, ktoré bolo stredného poškodenia, ale v druhom kole pri rozlišovaní

viac poškodeného piva zlyhali. Najmenej poškodené pivo, degustované v poslednom kole, podľa predpokladov, väčšina účastníkov neodhalila. To by sme očakávali, aj keby sme mali k dispozícii čerstvých posudzovateľov. Ďalšia skutočnosť, ktorá stojí za zmienku, je fakt, že drvivá väčšina dokázala správne určiť poškodenú vzorku len v jednom z troch kôl zkušky.

V prvom kole dokázali všetky ženy odpovedať správne, kým len jeden z troch mužov. V ďalších kolách správne rozlíšil vždy jeden muž a jedna žena z troch prítomných.

4.2 Druhá skúška – P0 a P30

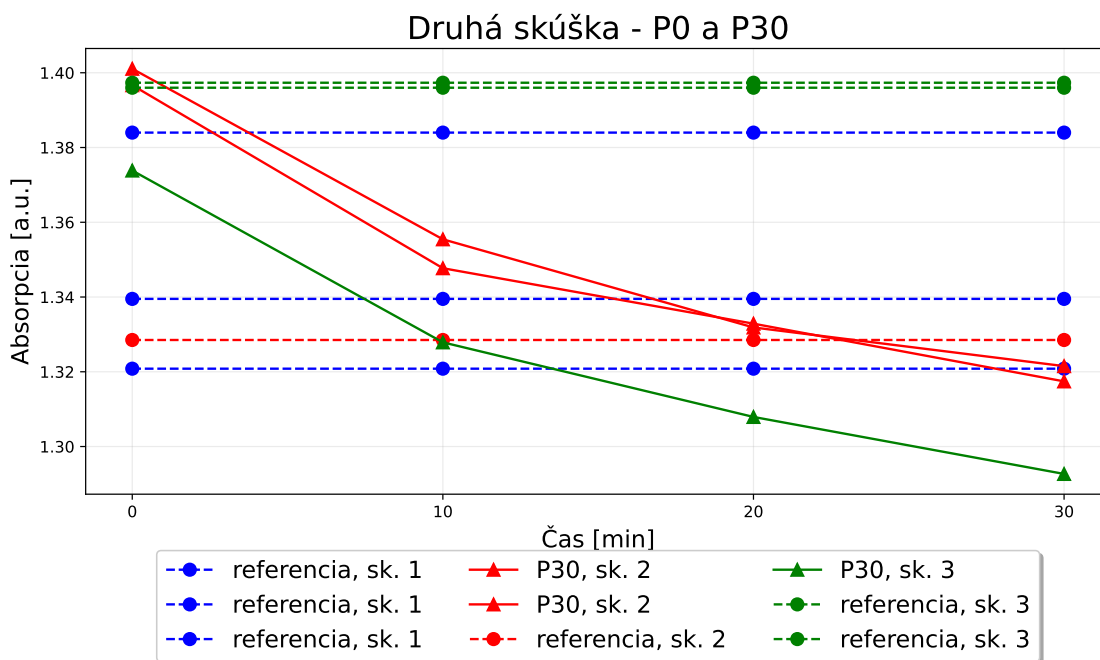
Skúška prebiehala vykonaním troch po sebe idúcich trojuholníkových skúšok. Po každej skúške nasledovala krátka, 5 minút trvajúca, prestávka so súčasným vyvetraním miestnosti. V každom kole boli účastníkom podané tri vzorky. V prvom kole boli účastníkom podané tri referenčné, t.j. nepoškodené, vzorky. Jednalo sa teda o tzv. „slepý“ test. V druhom kole boli posudzovateľom podané dve rovnako poškodené a jedna referenčná vzorka, v poslednom jedna poškodená vzorka a dve referenčné. V druhom a treťom kole boli posudzovateľom podané vzorky poškodzované rovnaký čas a s rovnakou zmenou absorpcie až na chybu merania. Každý účastník dostal poháre zamiešané v inom, náhodnom, poradí.

Na skúške bolo celkovo použitých deväť vzoriek piva Pilsner Urquell pochádzajúcich zo šarže A, odložené v tmavej chladničke pri teplote 0°C. Šesť z nich, tzv. referenčné, boli chránené pred žiarením akéhokoľvek rázu a deň pred skúškou zohriate na izbovú teplotu. Zostávajúce tri boli deň pred skúškou definovane poškodené ožiarením modrým svetlom na rovnaký stupeň poškodenia, konkrétne boli ožiarované 30 minút.

Testovací panel tvorilo sedem laických konzumentov piva – traja muži a štyri ženy vo veku 21-25 rokov.

Degustácia sa uskutočnila 15. 12. 2022 v telocvični internátu Budeč, Wenzigova 20, Praha 2. Každý účastník skúšky mal vlastný stôl, vzdialený od ostatných účastníkov aspoň 3 metre.

Graf zobrazuje vývoj absorpcie poškodzovaných vzoriek alebo zaznamenáva hladinu absorpcie pre referenčné vzorky. Vzorky podávané v rovnakom kole sú vyznačené rovnakou farbou, modrou pre prvé kolo skúšky, červenou pre druhé a zelenou pre tretie kolo skúšky. Referenčné vzorky sú odlíšené prerušovanou čiarou. Body merania sú vyznačené guľičkami pre referenčné vzorky a trojuholníkmi pre poškodzované vzorky. Referenčné vzorky boli premerané jedenkrát, pre úplnosť grafu sú vykreslené počas celého času s ich prvou nameranou hodnotou.



Obr. 4.2: Vývoj absorpcií v pivách použitých v druhej skúške.

Tabuľka zobrazuje podrobné výsledky skúšok v chronologickom poradí. Pod typom skúšky sa nachádza zmena absorpcie poškodovanej vzorky. V treťom kole boli použité dve poškodené vzorky, ale rozdiel ich zmeny absorpcie je pod úrovňou chyby merania, preto uvádzame len jednu hodnotu. V prvom stĺpci je vyznačené, ktorú v poradí zľava referenčnú vzorku označili posudzovatelia ako rozdielnú, v poslednom riadku je zaznačené rozdelenie odpovedí slepého testu. Účastníci odpovedali nasledujúcim spôsobom:

Výsledok 2. panelovej degustácie				15. 12. 2022	
Charakteristiky		Poškodenie			
Účastník číslo	Pohlavie	P0	P30 -0.081 (a.u.)	P30 -0.079 (a.u.)	
1.	Žena	2	S	N	
2.	Žena	2	S	N	
3.	Muž	2	S	N	
4.	Muž	1	S	S	
5.	Muž	2	S	N	
6.	Žena	2	N	N	
7.	Žena	2	N	N	
Spolu		1/6/0	5/7	1/7	

P0 značí „slepý“ test, *P30* označuje, že poškodené pivo bolo ožiarované 30 minút. *S* = Správne, *N* = Nesprávne.

V prvom teste takmer všetci účastníci zaznamenali, že im ako rozdielne pivo prišla rovnaká vzorka, hoci žiadna zo vzoriek nebola poškodená. V treťom kole, pri skúške rovnako poškodeného piva ako v druhom, úspešnosť posudzovateľov dramaticky klesla.

V druhom kole dokázali všetci traja muži zodpovedať správne, kým len polovica zo štyroch žien správne určila odlišnú vzorku. Jediný účastník, ktorý v treťom kole správne určil rozdielnu vzorku, bol mužského pohlavia.

4.3 Tretia skúška – P0 a P20

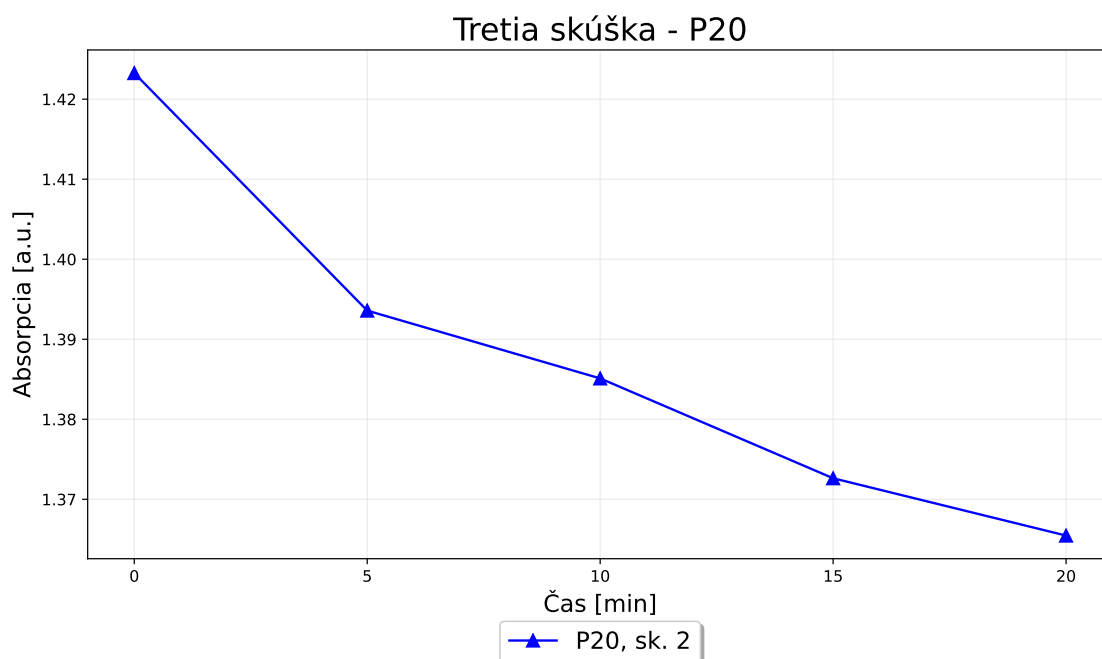
Skúška prebiehala vykonaním dvoch po sebe idúcich trojuholníkových skúšok v dvoch kolách skúšky. Po každej skúške nasledovala krátka, 5 minút trvajúca, prestávka. Počas celého konania skúšky boli okná otvorené na vetracom móde, aby bola miestnosť po celý čas prevetrávaná. V každom kole skúšky boli účastníkom podané tri vzorky. V prvom kole boli účastníkom podané samé referenčné, nepoškodené, vzorky a jednalo sa o tzv. „slepý“ test. V druhom kole dostali posudzovatelia na odegustovanie jednu poškodenú vzorku a dve referenčné. Každý účastník dostal poháre zamiešané v inom, náhodnom, poradí. Účastníkom boli po celý čas trvania degustácie ponúkané degustačné sústa vo forme suchých rožkov a syra eidamu.

Na skúške bolo celkovo použitých šesť vzoriek piva Pilsner Urquell pochádzajúcich zo šarže B, odložené v tmavej chladničke pri teplote 0°C. Päť z nich, referenčných, bolo chránených pred žiarením akéhokoľvek rázu a deň pred skúškou zohriatych na izbovú teplotu. Zostávajúce pivo bolo deň pred skúškou definovane poškodené ožiarovaním modrým svetlom po dobu 20 minút.

Testovací panel tvorilo deväť laických konzumentov piva – štyria muži a päť žien vo veku 21-25 rokov.

Degustácia sa uskutočnila 19. 1. 2023 v študovni internátu Budeč, Wenzigova 20, Praha 2. Posudzovatelia sedeli za jedným stolom a vzorky im boli predkladané postupne.

Graf zobrazuje vývoj absorpcie pri poškodzovaní vzorky po dobu 20 minút. Dáta pre referenčné vzorky použité ako pri slepom teste, tak v druhom kole skúšky, chýbajú. Body merania sú vyznačené trojuholníkmi.



Obr. 4.3: Vývoj absorpcií v pive použitom v tretej skúške.

Tabuľka zobrazuje podrobné výsledky skúšok v chronologickom poradí. Pod typom skúšky sa nachádza zmena absorpcie poškodzovanej vzorky. V prvom stĺpci je vyznačené, ktorú zľava z predložených referenčných vzoriek označili posudzovatelia ako rozdielnu, v poslednom riadku je zaznačené rozdelenie odpovedí slepého testu. Účastníci odpovedali nasledujúcim spôsobom:

Výsledok 3. panelovej degustácie		19. 1. 2023	
Charakteristiky		Poškodenie	
Účastník číslo	Pohlavie	P0	P20 -0.058 (a.u.)
1.	Žena	2	N
2.	Žena	1	S
3.	Muž	2	N
4.	Muž	2	N
5.	Muž	1	S
6.	Žena	1	N
7.	Žena	1	S
8.	Muž	3	N
9.	Žena	3	N
Spolu		4/3/2	3/9

P0 značí „slepý“ test, *P20* označuje, že poškodené pivo bolo ožiarované 20 minút.
S = Správne, *N* = Nesprávne.

V prvom kole sa javí, že odhady jednotlivých členov panelu sú pomerne rovnomerne distribuované medzi všetkými možnosťami.

V druhom kole väčšina členov panelu, konkrétne šesť, označila nesprávnu vzorku. Výsledky mohli byť trochu skreslené faktom, že sa skúška uskutočnila v malej miestnosti, ktorá sa mohla rýchlo nasýtiť pachom letenky a ovplyvniť posudzovateľov v ich voľbe.

V tomto prípade správne rozlíšili dve z piatich žien a jeden zo štyroch mužov, z čoho žiaden vplyv pohlavia na správnosť rozhodovania nepozorujeme.

4.4 Štvrtá skúška – E0, E20

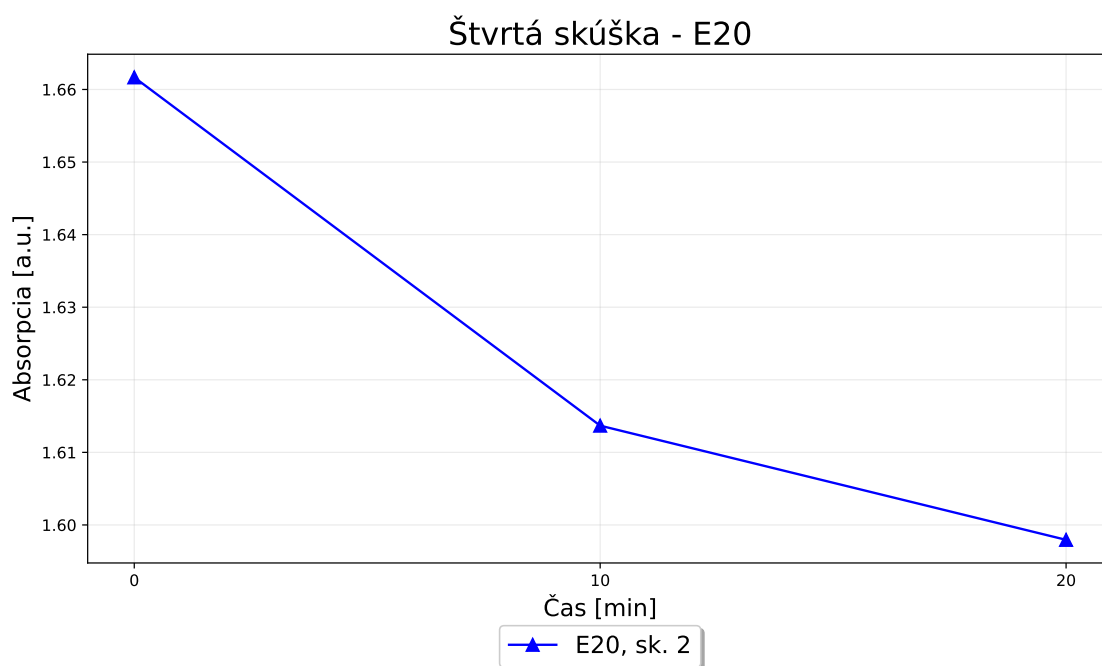
Skúška prebiehala vykonaním dvoch po sebe idúcich trojuholníkových skúšok. Po každej skúške nasledovala krátka, 5 minút trvajúca, prestávka. Počas celého konania skúšky boli okná otvorené na vetracom móde, aby bola miestnosť prevetrávaná. V každom kole skúšky boli účastníkom podané tri vzorky. V prvom kole skúšky boli účastníkom v tzv. „slepom“ teste podané tri referenčné, nepoškodené, vzorky, v druhom kole jedna poškodená vzorka a dve referenčné. Každý účastník dostal poháre zamiešané v inom, náhodnom, poradí. Účastníkom boli po celý čas trvania degustácie ponúkané degustačné sústa vo forme suchých rožkov a syra eidamu.

Na skúške bolo celkovo použitých šesť vzoriek piva Excelent 11° pochádzajúcich zo šarže E. Boli odložené v tmavej chladničke pri teplote 0°C. Päť z nich, tzv. referenčné, boli chránené pred žiarením akéhokoľvek rázu a deň pred skúškou zohriate na izbovú teplotu. Zostávajúce pivo bolo deň pred skúškou definovane poškodené ožiarovaním po dobu 20 minút.

Testovací panel tvorilo v prvom kole osem laických konzumentov piva – šesť mužov a dve ženy vo veku 20-26 rokov, v druhom kole pribudla ešte jedna žena navyše.

Testovanie sa uskutočnilo 26. 1. 2023 v telocvični internátu Budeč, Wenzigova 20, Praha 2. Každý účastník skúšky mal vlastné miesto, vzdialené od ostatných účastníkov aspoň 3 metre.

Graf zobrazuje vývoj absorpcie pri poškodzovaní vzorky po dobu 20 minút. Dáta pre referenčné vzorky použité v „slepom“ teste a v druhom kole skúšky chýbajú. Body merania sú vyznačené trojuholníkmi.



Obr. 4.4: Vývoj absorpcie v pive použitom vo štvrtej skúške.

Tabuľka zobrazuje výsledok skúšok v chronologickom poradí. Pod typom skúšky sa nachádza zmena absorpcie poškodzovanej vzorky. V prvom stĺpci je vyznačené, ktorí z posudzovaných referenčných vzoriek zľava označili posudzovatelia ako rozdielnu. V poslednom riadku je vyznačené rozdelenie odpovedí „slepého“ testu. V tomto „slepom“ teste bolo každému účastníkovi nalievané pivo do jednotlivých pohárov z rovnakej fľaše, t.j. v ľavom pohári mali všetci posudzovatelia rovnaké pivo, v strednom mali takisto rovnaké, atď. Účastníci odpovedali nasledujúcim spôsobom:

Výsledok 4. panelovej degustácie		26. 1. 2023	
Charakteristiky		Poškodenie	
Účastník číslo	Pohlavie	E0	E20 -0.064 (a.u.)
1.	Muž	2	S
2.	Žena	2	N
3.	Muž	3	N
4.	Muž	2	N
5.	Muž	2	S
6.	Muž	2	S
7.	Muž	2	S
8.	Žena	3	S
9.	Žena	-	S
Spolu		0/7/2	6/9

E0 značí „slepý“ test, *E20* značí, že poškodené pivo bolo ožiarované 20 minút.
S = Správne, *N* = Nesprávne.

V prvom kole väčšina účastníkov označila za iné pivo druhú možnosť, čo je zaujímavé vzhľadom na fakt, že to bola pre všetkých účastníkov rovnaká vzorka, ktorá sa ale od ostatných vzoriek nemala žiadnym spôsobom odlišovať.

V druhom kole šesť z deviatich členov panelu vyhodnotilo ako inú od ostatných správnu vzorku, čo predstavuje štatisticky významnú časť panelu.

Dve tretiny žien aj mužov dokázali správne rozpoznať odlišnú vzorku.

4.5 Piata skúška – PD34

Skúška prebehla vykonaním jednej trojuholníkovej skúšky. Počas celého konania skúšky boli okná otvorené na vetracom móde, aby bola miestnosť prevetrávaná. Každý účastník dostal poháre zamiešané v inom, náhodnom, poradí. Pach letenky bol cítiť hneď po otvorení fľaše s poškodeným pivom. Posudzovateľom boli po celý čas trvania degustácie ponúkané degustačné sústa vo forme suchých rožkov, syra eidamu a uhorky.

Na skúške boli použité dve fľaše piva Pilsner Urquell pochádzajúcich zo šarže B. Jedna bola odložená v tmavej chladničke pri teplote 0°C, chránená pred žiarením akéhokoľvek rázu a v deň skúšky zohriata na izbovú teplotu. Druhá bola 34 dní vystavená dennému svetlu na okne v budove Ústavu pivovarského a sladařského v Prahe. Táto vzorka piva bola poškodená prirodzeným svetlom.

Testovací panel tvorilo sedem laických konzumentov piva – šesť mužov a jedna žena vo veku 20-26 rokov.

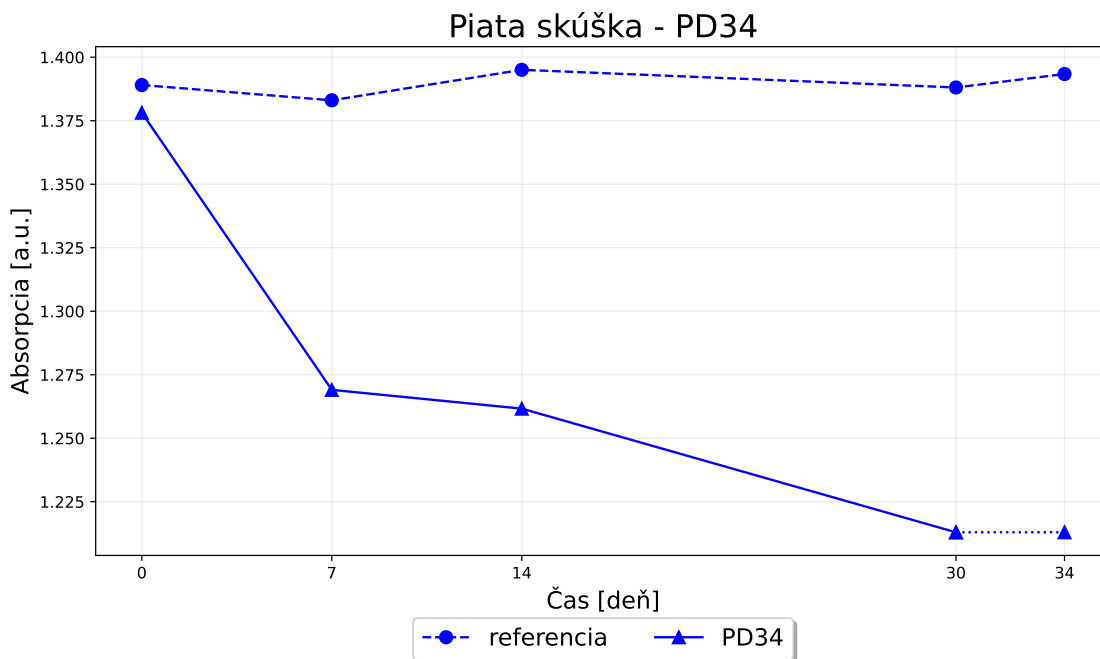
Testovanie sa uskutočnilo 14. 2. 2023 v telocvični internátu Budeč, Wenzigova 20, Praha 2. Každý účastník skúšky mal vlastné miesto, vzdialené od ostatných účastníkov aspoň 3 metre.

Graf zobrazuje vývoj absorpcie počas 34 dní pre vzorku piva položenú v miestnosti na okne. Zhruba každý týždeň až dva bola vzorka premeraná. Referenčná vzorka bola po celý čas odložená v chladničke a takisto premeriavaná spolu s poškodzovanou vzorkou. Dáta merania v 34. deň pre fľašu položenú na okne chýbajú, preto je v tom čase uvedená rovnaká absorpcia ako v posledný čas merania. Vývoj absorpcie referenčnej vzorky je od-

líšený prerušovanou čiarou. Body merania sú vyznačené guľičkami pre referenčnú vzorku a trojuholníkmi pre poškodzovanú vzorku.

Môžeme pozorovať mierne oscilovanie absorpcie referenčnej vzorky v dôsledku chyby meraní a zmeny teplôt (vzorka bola uložená v chladničke a vždy pred meraním zohriata na izbovú teplotu, mohlo byť inak zohriata).

Takisto vývoj absorpcie fľašky ponechanej na svetle má oproti zrýchlene poškodeným vzorkám nepravidelnejší tvar spôsobený vplyvom tepelného starnutia vzorky.



Obr. 4.5: Vývoj absorpcií v pivách použitých v piatej skúške.

Tabuľka zobrazuje podrobné výsledky skúšky. Pod typom skúšky sa nachádza zmena absorpcie poškodzovanej vzorky. Účastníci odpovedali nasledujúcim spôsobom:

Výsledok 5. panelovej degustácie		14. 2. 2023
Charakteristiky		Poškodenie
Účastník číslo	Pohlavie	PD34 -0.165 (a.u.)
1.	Muž	S
2.	Muž	S
3.	Muž	N
4.	Žena	S
5.	Muž	N
6.	Muž	S
7.	Muž	N
Spolu		4/7

PD34 označuje, že poškodené pivo bolo vystavené 34 dní na okne prirodzenému svetlu.
S = Správne, *N* = Nesprávne.

Viac ako polovica účastníkov dokázala rozpoznať poškodené pivo. Avšak, keďže počet správnych odpovedí nie je štatisticky významný, nemôžeme jednoznačne preukázať, že existujú vnímateľné rozdiely medzi týmito dvoma vzorkami piva. Treba ešte dodať, že pri prirodzenom poškodzovaní piva dochádza k ďalším chemickým reakciám, ktoré rozoznanie svetelného poškodenia sťažujú. Keďže sa degustácie zúčastnila len jedna žena, nedajú sa robiť žiadne závery ohľadom vplyvu pohlavia na degustačné schopnosti.

4.6 Šiesta skúška – E30

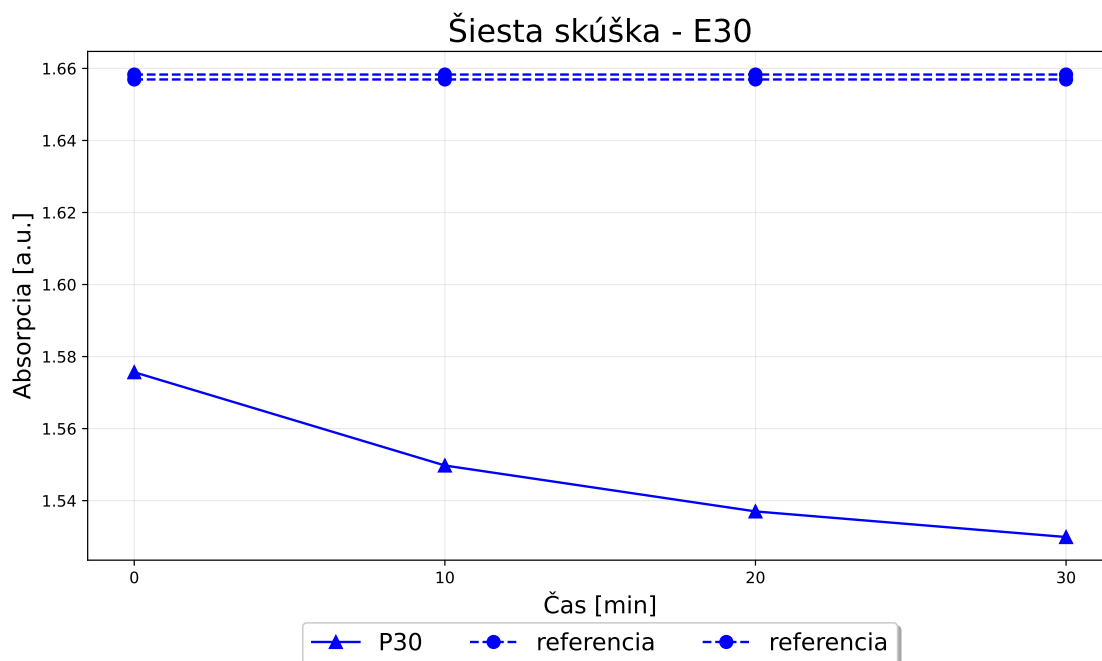
Skúška prebehla vykonaním jednej trojuholníkovej skúšky. Počas celého konania skúšky boli okná otvorené na vetracom móde, aby bola miestnosť prevetraná. Každý účastník dostal poháre zamiešané v inom, náhodnom, poradí. Účastníkom boli po celý čas trvania degustácie ponúkané degustačné súbory vo forme suchých rožkov a syra eidamu.

Na skúške boli celkovo použité dve fľaše piva Excelent 11° pochádzajúcich zo šarže F. Dve boli odložené v tmavej chladničke pri teplote 0°C, chránené pred žiarením akéhokoľvek rázu a v deň skúšky zohriate na izbovú teplotu. Tretie pivo, takisto zo šarže F, bolo deň pred skúškou definovane poškodené ožiarovaním po dobu 30 minút.

Testovací panel tvorilo šesť laických konzumentov piva – päť mužov a jedna žena vo veku 20-26 rokov.

Testovanie sa uskutočnilo 16. 2. 2023 v telocvični internátu Budeč, Wenzigova 20, Praha 2. Každý účastník mal vlastné miesto, vzdialené od ostatných aspoň 3 metre.

Graf zobrazuje vývoj absorpcie pri poškodzovaní vzorky alebo zaznamenáva hladinu absorpcie pre referenčné vzorky. Referenčné vzorky sú odlíšené prerušovanou čiarou. Body merania sú vyznačené guľôčkami pre referenčné vzorky a trojuholníkmi pre poškodzovanú vzorku. Referenčné vzorky boli premerané iba raz, pre úplnosť grafu sú vykreslené v grafe počas celého času s ich prvou nameranou hodnotou.



Obr. 4.6: Vývoj absorpcií v pivách použitých v šiestej skúške.

Tabuľka zobrazuje podrobné výsledky skúšky. Pod typom skúšky sa nachádza zmena absorpcie poškodzovanej vzorky. Účastníci odpovedali nasledujúcim spôsobom:

Výsledok 6. panelovej degustácie		16. 2. 2023
Charakteristiky		Poškodenie
Účastník číslo	Pohlavie	E30 -0.046 (a.u.)
1.	Muž	N
2.	Muž	N
3.	Muž	S
4.	Muž	S
5.	Muž	N
6.	Žena	N
Spolu		2/6

P30 označuje, že poškodené pivo bolo ožiarované 30 minút. S = Správne, N = Nesprávne.

Tretine účastníkov sa podarilo správne identifikovať poškodené pivo, ale stále to nepredstavuje štatisticky významné množstvo. Naopak sa zdá, že posudzovatelia mali problém rozpoznať poškodenú vzorku.

Keďže sa degustácie zúčastnila len jedna žena, nedajú sa robiť žiadne závery ohľadom vplyvu pohlavia na degustačné schopnosti.

4.7 Siedma skúška – E50

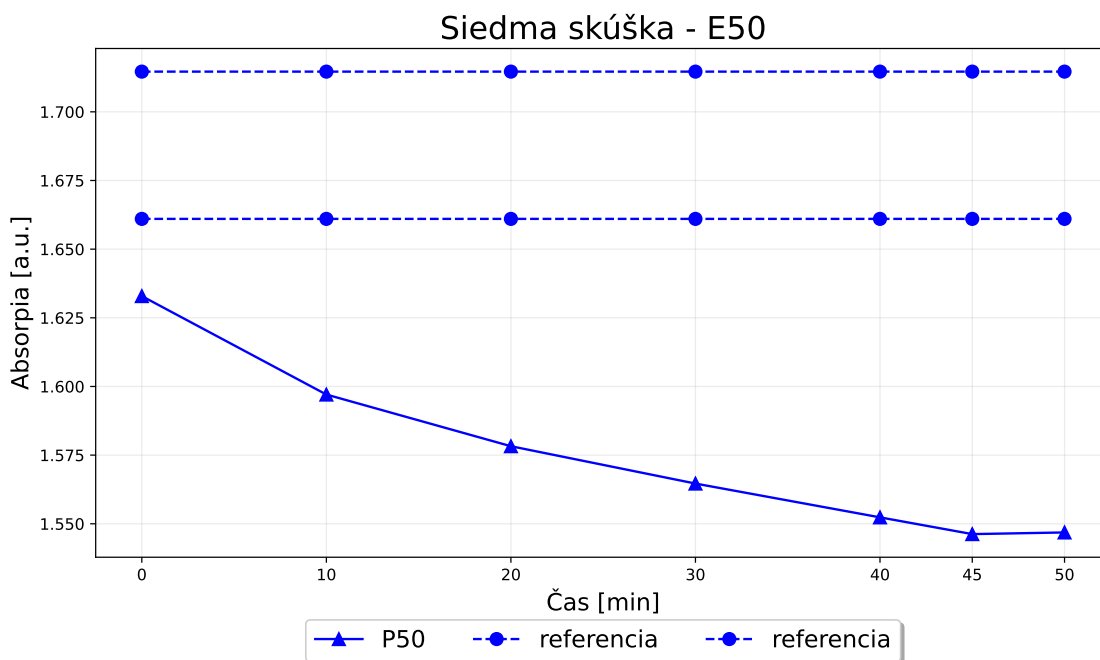
Skúška prebehla vykonaním jednej trojuholníkovej skúšky. Keďže sa skúška konala vo vonkajšom priestore, prostredie skúšky bolo po celý čas prevetrané. Každý účastník dostal poháre zamiešané v inom, náhodnom, poradí. Účastníkom boli po celý čas trvania degustácie ponúkané degustačné sústa vo forme suchých rožkov a syra eidamu.

Na skúške boli celkovo použité tri fľašky piva Excelent 11° pochádzajúcich zo šarže F. Boli odložené v tmavej chladničke pri teplote 0°C. Dve z nich, tzv. referenčné, boli chránené pred žiarením akéhokoľvek druhu a deň pred skúškou zohriate na izbovú teplotu. Zostávajúce pivo bolo deň pred skúškou definovane poškodené ožiarovaním po dobu 50 minút.

Testovací panel tvorilo deväť laických konzumentov piva – šesť mužov a tri ženy vo veku 20-26 rokov.

Testovanie sa uskutočnilo 23. 2. 2023 na záhrade internátu Budeč, Wenzigova 20, Praha 2. Každý účastník skúšky mal vlastné miesto, vzdialené od ostatných účastníkov aspoň 3 metre.

Graf zobrazuje vývoj absorpcie pri poškodzovaní vzorky alebo zaznamenáva hladinu absorpcie pre referenčné vzorky. Referenčné vzorky sú odlíšené prerušovanou čiarou. Jednotlivé body merania sú vyznačené guľôčkami pre referenčné vzorky a trojuholníkmi pre poškodzovanú vzorku. Referenčné vzorky boli premerané iba raz, pre úplnosť grafu sú ale vykreslené v grafe počas celého času s ich prvou nameranou hodnotou.



Obr. 4.7: Vývoj absorpcií v pivách použitých v siedmej skúške.

Tabuľka zobrazuje podrobné výsledky skúšky. Pod typom skúšky sa nachádza zmena absorpcie poškodzovanej vzorky. Účastníci odpovedali nasledujúcim spôsobom:

Výsledok 7. panelovej degustácie		23. 2. 2023
Charakteristiky		Poškodenie
Účastník číslo	Pohlavie	E50 -0.086 (a.u.)
1.	Žena	S
2.	Muž	N
3.	Muž	S
4.	Muž	S
5.	Muž	N
6.	Žena	S
7.	Muž	S
8.	Žena	N
9.	Muž	S
Spolu		6/9

E50 označuje, že poškodené pivo bolo ožiarované 50 minút. S = Správne, N = Nesprávne.

Dve tretiny členov panelu určila ako poškodenú tú správnu vzorku, čo predstavuje štatisticky významnú časť panelu. Treba ale poznamenať, že podľa normy (ČSN EN ISO 4120, 2009) je to hraničné množstvo posudzovateľov pre prehlásenie testu za štatisticky preukázaný. Preto poskytuje iba slabé dôkazy pre tvrdenie, že posudzovatelia sú schopní nájsť medzi danými vzorkami rozdiel.

Dve tretiny prítomných žien aj mužov dokázali správne rozpoznať odlišnú vzorku.

4.8 Ôsma skúška – PD56

Skúška prebehla vykonaním jednej trojuholníkovej skúšky. Počas celého konania skúšky boli okná otvorené na vetracom móde, aby bola miestnosť prevetraná. Každý účastník dostal poháre zamiešané v inom, náhodnom, poradí. Účastníkom boli po celý čas trvania degustácie ponúkané degustačné sústa vo forme suchých rožkov a syra eidamu.

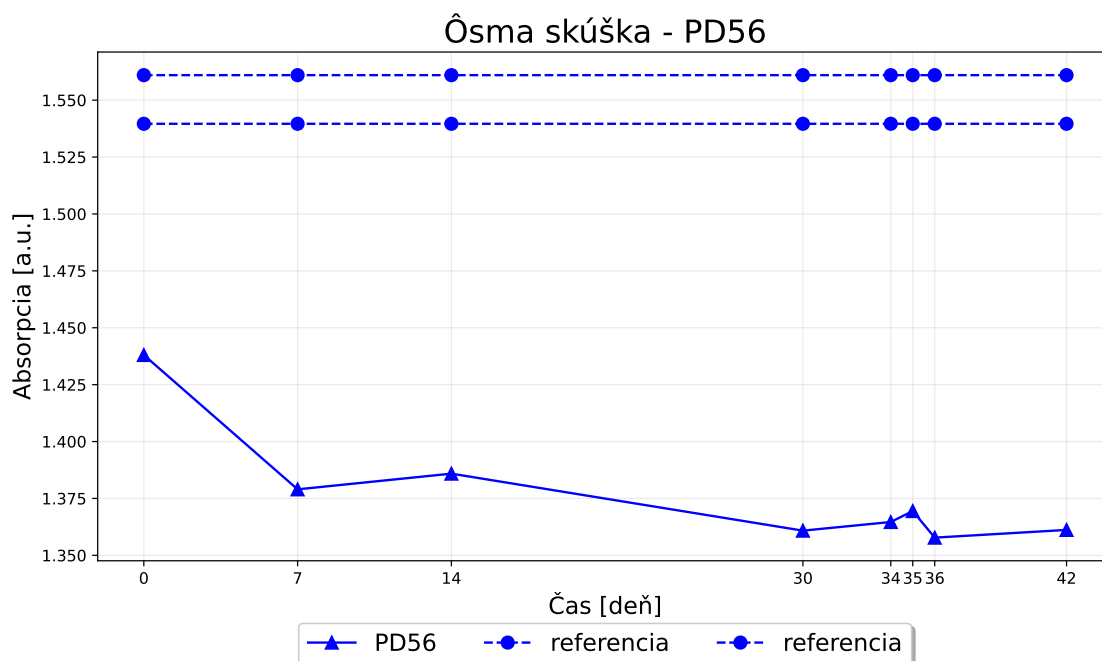
Na skúške boli celkovo použité tri vzorky piva Pilsner Urquell pochádzajúce z dvoch rozdielnych šarží, konkrétne zo šarže B a C. Referenčné vzorky pochádzali zo šarže C a boli chránené pred žiarením akéhokoľvek druhu. Zostávajúce pivo, pochádzajúce zo šarže B, bolo ponechané 56 dní na stole v miestnosti bez ochrany pred slnečným žiarením.

Testovací panel tvorilo päť laických konzumentov piva – traja muži a dve ženy vo veku 20-26 rokov.

Testovanie sa uskutočnilo 9. 3. 2023 v telocvični internátu Budeč, Wenzigova 20, Praha 2. Každý účastník skúšky mal vlastné miesto, vzdialené od ostatných účastníkov aspoň 3 metre.

Graf zobrazuje vývoj absorpcie pri poškodzovaní vzorky alebo zaznamenáva hladinu absorpcie pre referenčné vzorky. Jednotlivé body merania sú vyznačené guľôčkami pre referenčné vzorky a trojuholníkmi pre poškodzovanú vzorku. Referenčné vzorky boli premerané iba raz, pre úplnosť grafu sú vykreslené v grafe počas celého času s ich prvou nameranou hodnotou.

Všetky absorpcie namerané v 56. deň boli zhruba o 1 (a. u.) menšie ako hodnoty namerané na 42. deň, kedy bolo realizované posledné meranie. Tieto merania považujeme za chybné, pretože ďalšie meranie robené na 64. deň už vyšlo opäť blízko predchádzajúcim hodnotám, presne tak, ako by sme zhruba očakávali. Pre lepšiu orientáciu v grafe preto uvádzame len namerané hodnoty do 42. dňa.



Obr. 4.8: Vývoj absorpcií v pivách použitých v ôsmej skúške.

Tabuľka zobrazuje podrobné výsledky skúšky. Pod typom skúšky sa nachádza zmena absorpcie poškodzovanej vzorky, ktorá zodpovedá zmene absorpcie ku 42. dňu vzhľadom

na chybu meraní na 56. deň. Účastníci odpovedali nasledujúcim spôsobom:

Výsledok 8. panelovej degustácie		9. 3. 2023
Charakteristiky		Poškodenie
Účastník číslo	Pohlavie	PD56 -0.077 (a.u.)
1.	Muž	N
2.	Žena	S
3.	Žena	S
4.	Muž	N
5.	Muž	N
Spolu		2/5

PD56 označuje, že poškodené pivo bolo vystavené 56 dní prirodzenému svetlu.

S = Správne, N = Nesprávne.

Správne zodpovedali len dvaja z piatich posudzovateľov, teda môžeme konštatovať, že panel nedokázal rozlíšiť poškodenú vzorku piva.

Za zmienku stojí, že v tomto prípade všetky ženy odpovedali správne, kým ani jednému mužovi sa to nepodarilo.

4.9 Deviata skúška – P40 a P20

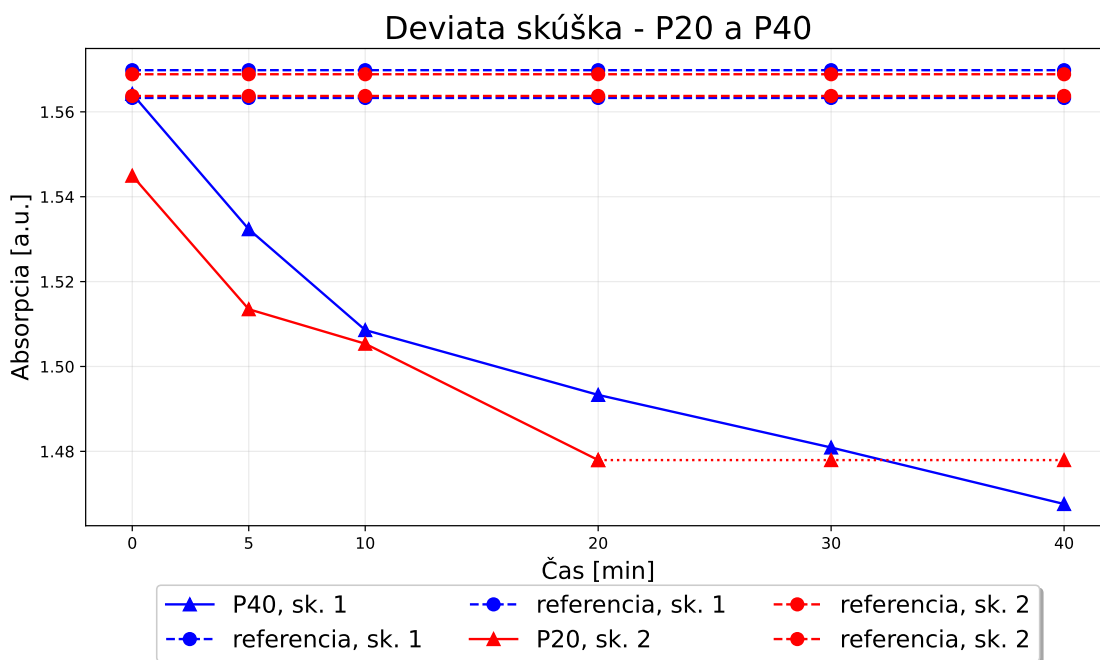
Skúška prebiehala vykonaním dvoch trojuholníkových skúšok naraz na dvoch rozdielnych skupinách posudzovateľov. Počas celého konania skúšky boli okná otvorené na vetracom móde, aby bola miestnosť prevetrávaná. Každý účastník dostal poháre zamiešané v inom, náhodnom, poradí. Účastníkom boli po celý čas trvania degustácie ponúkané degustačné sústa vo forme suchých rožkov a syra eidamu.

Na prvej skúške, označenej ďalej aj ako A, boli použité tri vzorky piva Pilsner Urquell pochádzajúce zo šarže C. Referenčné vzorky boli chránené pred žiarením akéhokoľvek druhu. Zostávajúce pivo bolo deň pred skúškou ožiarené po dobu 40 minút. V druhej skúške, označenej ďalej aj ako B, boli použité vzorky piva Pilsner Urquell šarže C, z toho dve referenčné, uskladňované rovnakým spôsobom. Tretie pivo bolo ožiarené po dobu 20 minút.

Testovací panel tvorilo trinásť laických konzumentov piva, ktorí boli rozdelení rovnomerne do dvoch skupín a každá posudzovala len jednu skúšku. Prvej skúšky A sa zúčastnilo šesť posudzovateľov – štyria muži a dve ženy. Druhej skúšky B sa zúčastnilo sedem posudzovateľov – traja muži a štyri ženy. Všetci účastníci boli vo veku 20-26 rokov.

Testovanie sa uskutočnilo 30. 3. 2023 v telocvični internátu Budeč, Wenzigova 20, Praha 2. Každý účastník skúšky mal vlastné miesto, vzdialené od ostatných účastníkov aspoň 3 metre.

Graf zobrazuje vývoj absorpcie pri poškodzovaní vzoriek alebo zaznamenáva hladinu absorpcie pre referenčné vzorky. Vzorky podávané v rovnakom kole sú vyznačené rovnakou farbou, modrou pre prvé kolo skúšky a červenou pre druhé kolo skúšky. Referenčné vzorky sú odlišené prerušovanou čiarou. Jednotlivé body merania sú vyznačené guľôčkami pre referenčné vzorky a trojuholníkmi pre poškodzovanú vzorku. Referenčné vzorky boli premerané iba raz. Pre úplnosť grafu sú vykreslené v grafe počas celého času s ich prvou nameranou hodnotou.



Obr. 4.9: Vývoj absorpcií v pivách použitých v deviatej skúške.

Tabuľka zobrazuje podrobné výsledky skúšok. Pod typom skúšky sa nachádza zmena absorpcie poškodovanej vzorky. Účastníci odpovedali nasledujúcim spôsobom:

Výsledok 9. panelovej degustácie		30. 3. 2023
Skúška B		Poškodenie
Účastník číslo	Pohlavie	P40 -0.097 (a.u.)
1.	Muž	N
2.	Muž	N
3.	Žena	N
4.	Žena	S
5.	Muž	S
6.	Muž	S
Spolu		3/6
Skúška A		Poškodenie
Účastník číslo	Pohlavie	P20 -0.067 (a.u.)
7.	Muž	N
8.	Muž	N
9.	Žena	S
10.	Žena	N
11.	Muž	N
12.	Žena	S
13.	Žena	N
Spolu		2/7

P40 a P20 označujú, že poškodené pivo bolo ožiarované 40 minút a 20 minút. S = Správne,

$N = \text{Nesprávne.}$

V prvej skúške A správne zodpovedala len polovica degustačného panelu, teda výsledok tejto skúšky neposkytol dostatočné dôkazy na potvrdenie tvrdenia, že posudzovatelia sú schopní nájsť rozdiel medzi vzorkami piva.

Jedna z dvoch žien, ktoré sa zúčastnili tejto skúške dokázala správne rozlíšiť. U mužov to dokázali dvaja zo štyroch.

V druhej skúške B odpovedali správne len dvaja členovia degustačného panelu, preto môžeme konštatovať, že sa poškodené pivo panelu tiež nepodarilo rozpoznať.

Polovica žien dokázala správne identifikovať rozdielnú vzorku, kým ani jednému mužovi sa to nepodarilo.

4.10 Desiata skúška – P10

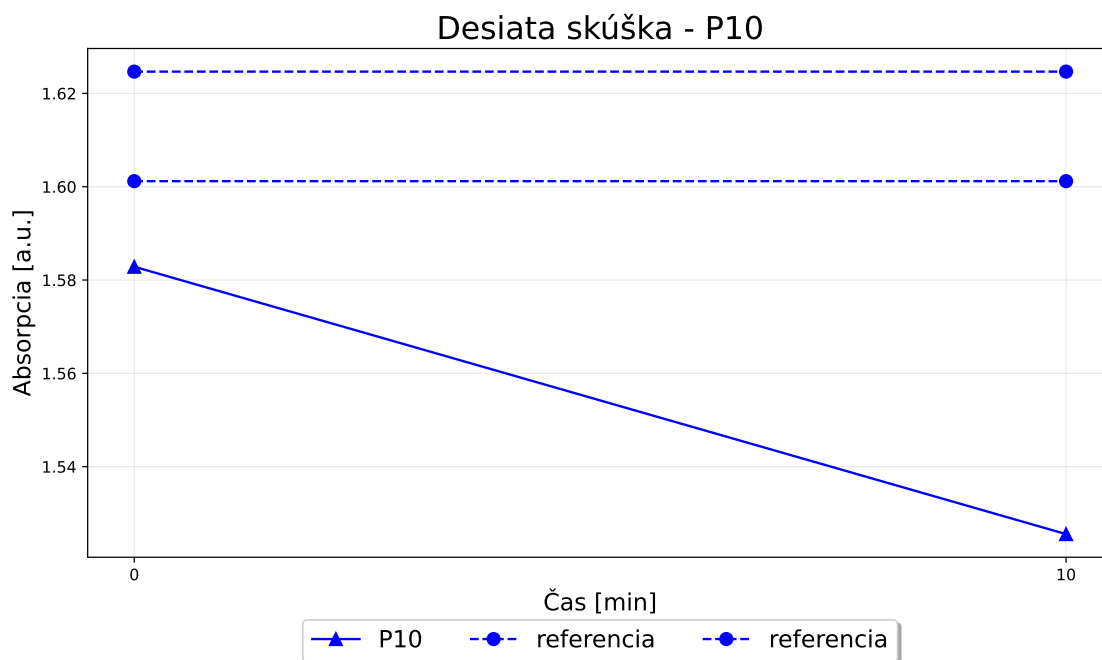
Skúška prebehla vykonaním jednej trojuholníkovej skúšky. Počas celého konania skúšky boli okná otvorené na vetracom móde, aby bola miestnosť prevetrávaná. Každý účastník dostal poháre zamiešané v inom, náhodnom, poradí.

Na skúške boli celkovo použité tri fľašky piva Pilsner Urquell pochádzajúcich zo šarže C. Všetky boli odložené v tmavej chladničke pri teplote 0°C, chránené pred žiarením akéhokoľvek druhu a v deň skúšky zohriate na izbovú teplotu. Poškodená vzorka bola v deň skúšky poškodená po dobu 10 minút.

Testovací panel tvorilo sedem laických konzumentov piva – štyria muži a tri ženy vo veku 21-24 rokov.

Testovanie sa uskutočnilo 31. 3. 2023 v knižnici jezuitského internátu, Karlovo náměstí, Praha 2. Posudzovatelia sedeli za jedným stolom a vzorky im boli predkladané postupne.

Graf zobrazuje vývoj absorpcie pri poškodzovaní vzorky alebo zaznamenáva hladinu absorpcie pre referenčné vzorky. Referenčné vzorky sú odlíšené prerušovanou čiarou. Body merania sú vyznačené guľôčkami pre referenčné vzorky a trojuholníkmi pre poškodzovanú vzorku. Referenčné vzorky boli premerané iba raz, pre úplnosť grafu sú vykreslené v grafe počas celého času s ich prvou nameranou hodnotou.



Obr. 4.10: Vývoj absorpcií v pivách použitých v desiatej skúške.

Tabuľka zobrazuje podrobné výsledky skúšky. Pod typom skúšky sa nachádza zmena absorpcie poškodovanej vzorky. Účastníci odpovedali nasledujúcim spôsobom:

Výsledok 10. panelovej degustácie		31. 3. 2023
Charakteristiky		Poškodenie
Účastník číslo	Pohlavie	P10 -0.057 (a.u.)
1.	Žena	S
2.	Muž	N
3.	Žena	N
4.	Muž	N
5.	Žena	S
6.	Muž	S
7.	Muž	N
Spolu		3/7

P10 označuje, že poškodené pivo bolo ožiarované 10 minút. *S* = Správne, *N* = Nesprávne.

Správne zodpovedali len traja zo siedmich posudzovateľov, preto môžeme konštatovať, že sa poškodené pivo panelu nepodarilo rozpoznať.

Dvaja z troch účastníkov, ktorí správne rozpoznali inú vzorku boli ženského pohlavia. Tejto skúšky sa celkovo zúčastnili tri ženy. Len jeden zo štyroch mužoch dokázal správne rozlíšiť rozdielnu vzorku.

5. Analýza výsledkov

V tejto kapitole postupne zodpovieme na základe výsledkov z realizovaných degustácií na otázky z úvodu práce. Jednalo sa o vplyv únavy a pohlavia na schopnosť posudzovateľov správne určiť svetelne poškodenú vzorku. Uvedieme výsledky štatistických testov realizovaných podľa popisu v 2. kapitole a takisto zodpovieme aj na ďalšie štatistické otázky, ktoré nám vyvstali v priebehu práce. Ďalej zanalyzujeme namerané optometrické hodnoty absorpcií vzoriek, porovnáme ich s odpoveďami získanými vo vykonaných senzorických skúškach a napočítame koreláciu medzi absorpciou fľaši a zmenou absorpcie poškodzovaných vzorkách po 10 minútach ožiarovania.

5.1 Únava posudzovateľov

Počas prvých troch degustácií sme testovali viacero skúšok za sebou. V prvej skúške, opísanej v sekcii 4.1, počas prvého kola dostali posudzovatelia na odegustovanie vzorku, ktorá bola osvetľovaná po dobu 10 minút. V druhom kole vzorku, ktorá bola osvetľovaná 15 minút a nakoniec, v treťom kole vzorku osvetlenú iba 5 minút. Zmena absorpcie, ktorú berieme ako hlavný ukazovateľ poškodenosti piva, bola najvyššia u vzorky, ktorá bola osvetľovaná najdlhšie, čo je očakávaný výsledok. Táto vzorka bola podávaná v druhom kole. Napriek tomu dokázali v prvom kole u menej poškodenej vzorky posudzovatelia uspieť výrazne lepšie ako v druhom. Spomedzi tých istých posudzovateľov v prvom kole zodpovedali správne štyria zo šiestich prítomných a v druhom už iba dvaja.

V druhej degustácii, opísanej v sekcii 4.2, sme zopakovali v dvoch kolách skúšku s rovnako dlho, 30 minút, svetlom poškodenými vzorkami. V druhom kole dostali posudzovatelia na odegustovanie dve vzorky poškodeného piva a jednu referenčnú, v treťom kole zase jednu poškodenú a dve referenčné. Zmena absorpcie, ktorú berieme ako ukazovateľ poškodenia pív, bola medzi všetkými poškodenými vzorkami takmer rovnaká s odchýlkou pod úrovňou chyby merania. Dané skúšky pokladá norma za ekvivalentné (ČSN EN ISO 4120, 2009). Z tých istých posudzovateľov v druhom kole odpovedalo správne päť zo siedmich a v treťom kole odpovedal správne len jeden z prítomných. V prvom kole dostali posudzovatelia na degustáciu iba nepoškodené vzorky a jednalo sa o „slepý“ test.

Z týchto výsledkov usudzujeme, že schopnosť posudzovateľov rozlišovať piva sa rýchlo zoslabuje a už po jednej skúške, v ktorej dostanú na rozoznanie rôzne poškodené piva, je výsledok skúšky znehodnotený. Hovoríme o **únave** posudzovateľov.

V tretej skúške dostali posudzovatelia odegustovať v prvom kole „slepý test“. V druhom kole dostali na odegustovanie jednu poškodenú vzorku spolu s dvoma referenčnými.

Napriek tomu po odegustovaní „slepého“ testu ich schopnosť rozlíšiť piva zostala zachovaná. Vychádzame z toho, že pri porovnaní výsledkov v poradí deviatej skúšky s výsledkami tretej skúšky, v ktorej dostali posudzovatelia na odegustovanie rovnako poškodené vzorky osvetľované 20 minút, výsledky deviatej skúšky dopadli horšie ako v prípade tretej. Z toho vyvodzujeme, že „slepý“ test na začiatku skúšky nemá na únavu a schopnosť posudzovateľov markantný vplyv. Okrem prirodzenej únavy ďalším dôležitým faktorom je nasýtenie vzduchu letenkovým zápachom.

Pri záveroch preto nebudeme brať do úvahy výsledky skúšok, ktoré neboli realizované prvé v poradí alebo nenasledovali bezprostredne po „slepom“ teste a teda mohli byť ovplyvnené únavou alebo nasýtením priestoru letenkovým zápachom.

Pri poslednej, v poradí desiatej, skúške bola odegustovaná vzorka piva, ktorá bola

poškodená v ten istý deň ako bola odegustovaná. Takisto boli vnímateľné rozdiely medzi teplotami referenčných vzoriek a poškodenou vzorkou, čo mohlo do značnej miery ovplyvniť posudzovateľov pri ich rozhodovaní. Pre tieto odchylky od ostatných skúšok výsledok tejto skúšky tiež do súhrnných výsledkov nezahrnieme.

5.2 Štatistické problémy

V nasledujúcej sekcii zodpovieme na štatistické problémy, s ktorými sme sa v priebehu organizovania degustácií stretli a ktoré sme aj načrtli v úvode práce.

5.2.1 Malé množstvo posudzovateľov

Keďže sme mali na degustáciach prítomný len veľmi malý počet posudzovateľov, je obtiažne detekovať malé rozdiely medzi vzorkami. Zároveň môže s vyššou pravdepodobnosťou nastať jav, kedy sa podarí štatisticky významnej časti posudzovateľov náhodou objaviť neexistujúci rozdiel medzi vzorkami.

Norma uvádza, že pre typické testovanie trojuholníkovou skúškou sa odporúča, aby sa zúčastnilo degustácie testu pre rozdiel medzi dvadsaťštyri a tridsať posudzovateľov, a dvojnásobok (teda približne šesťdesiat) testu pre podobnosť.

Ako však aj samotná norma konštatuje, v praxi je počet posudzovateľov často determinovaný materiálnymi podmienkami, ako sú čas trvania experimentu, počet ochotných posudzovateľov, množstvo a cena testovaných produktov, a iné.

Problém štatistického testovania sa dá čiastočne vyriešiť použitím presného testu, ale pre zachytenie menších rozdielov je potrebné sa snažiť získať čo najviac posudzovateľov je možné (ČSN EN ISO 4120, 2009).

5.2.2 Heterogenita členov

Ďalším problémom je **nehomogenita** degustačného panelu. Vo svojej knihe (Lawless a Heymann, 2010) autori píšu, že ak sa sensometrickej skúšky zúčastňujú bežní, nevytrénovaní posudzovatelia, vždy sa medzi nimi nachádza zopár jednotlivcov (autori odhadujú tento pomer až na zhruba 20% zúčastnených), ktorí **nikdy** nedokážu rozpoznať rozdielnú vzorku. Preto výsledok testu s rovnako poškodenými vzorkami sa môže v závislosti na zložení panelu líšiť.

Na druhej strane degustácie s laickým panelom zodpovedajú oveľa viac realite oproti degustáciám s profesionálmi, keďže väčšina konzumentov piva sú nevytrénovaní degustátori. Pre spoločnosti zaoberajúcimi sa výrobou piva môže byť preto oveľa hodnotnejší názor ich zákazníkov, ktorí sú ale menší odborníci.

V prípade skúšok, ktoré sme pre získanie potrebných dát organizovali, bol zakaždým prítomný degustačný panel v inom zložení. Len šesťnásť z celkových štyridsaťjeden posudzovateľov sa zúčastnilo viac ako jednej z desiatich skúšok. Jeden posudzovateľ sa priemerne zúčastnil 1.90 skúšok.

Tento problém by sa dal čiastočne vyriešiť otestovaním všetkých potenciálnych posudzovateľov pred ich zaradením do panelu a ideálne sa snažiť, ak to okolnosti dovoľujú, vybrať degustačný panel zložený z posudzovateľov rovnakých schopností. Prípadne je možné po realizácii viacerých skúšok skúsiť na základe výsledkov stanoviť schopnosti

jednotlivých posudzovateľov a výsledky tých vyčnievajúcich nezapočítať. Treba ešte poznamenať, že u posudzovateľov sa môže táto schopnosť po absolvovaní viacerých skúšok vyvíjať.

Z praktických dôvodov sme nemali pri organizácii degustácií priestor na testovanie schopností nových posudzovateľov. Na to, aby sme dokázali spoľahlivo stanoviť schopnosť posudzovateľa uspieť u našej skúšky nemáme dostatok dát. Ďalšou optimalizáciou výberu posudzovateľov sa ešte budeme zaoberať.

5.3 Výsledky štatistických testov trojuholníkových skúšok a analýza absorpcií

V tejto sekcii postupne zanalyzujeme optometricky namerané hodnoty absorpcie a dáme ich do súvislosti s odpoveďami posudzovateľov v sensometrických skúškach. Ešte predtým sa ale pozrieme na výsledky realizácie štatistických testov v jednotlivých skúškach.

Budeme takisto diskutovať možnú hranicu rozpoznatelnosti pre rôzne druhy piva na základe našich dát. Hranicou rozpoznatelnosti budeme uvažovať takú zmenu absorpcie, po ktorej už je schopné štatisticky významné množstvo posudzovateľov rozpoznať rozdiel medzi poškodenou a nepoškodenou vzorkou. Pre nás štatisticky významné množstvo posudzovateľov je taký počet posudzovateľov, že na hladine významnosti $\alpha = 0.05$ zamietame nulovú hypotézu v teste pre rozdiel opísanom v 2. kapitole.

U všetkých skúšok sme použili presný test pre rozdiel a testovali sme na hladine $\alpha = 0.05$. Uvádzame iba výsledky tých skúšok, u ktorých predpokladáme, že posudzovatelia neboli ovplyvnení únavou, teda vždy prvé v poradí alebo druhé, ak nasledovali bezprostredne po „slepom“ teste.

Skúšky sú označené veľkými písmenami pre typ piva, ktoré sa v nich testovalo, P značí vzorky piva Pilsner Urquell, E označuje Excelent 11° a PD vzorky piva Pilsner Urquell poškodzované dlhodobou prirodzeným svetlom. Číslica za nimi označuje čas osvetlenia danej vzorky v minútach pri zrýchlenom poškodení a čas v dňoch v prípade prirodzeného poškodenia. V prípadoch prirodzeného poškodzovania, vzorka označovaná ako PD34 bola vystavená na okne 34 dní a vzorka PD56 bola po dobu 56 dní položená na stole v miestnosti bez ochrany pred svetlom.

V stĺpci „Zmena absorpcie“ je uvedená zmena absorpcie u poškodenej vzorky použitej v danej skúške. Uvedené p-hodnoty a zmeny absorpcie sú zaokrúhlené na tri desatinné miesta. V stĺpci „Záver testu“ označujeme záver, že zamietame H_0 ako Z a záver, že nezamietame H_0 ako N.

V prípade vzorky P10 nám chýba počiatočná hodnota absorpcie, preto jej zmenu nie sme schopní presne dopočítať. Pre lepšiu predstavu ale uvádzame našu aproximáciu vypočítanú nahradením počiatočnej absorpcie za hodnotu, ktorú mala iná vzorka s rovnakou hodnotou absorpcie po 10 minútach osvetľovania. V tabuľke je aproximovaná hodnota označená ako (A). Kvôli chybe merania je ako hodnota zmeny absorpcie vzorky PD56 na 56. deň uvedená hodnota nameraná na poslednom predchádzajúcom meraní, ktoré sa uskutočnilo na 42. deň.

Štatistické závery spolu s výsledkami skúšok sú nasledovné:

Tabuľka 5.1: Tabuľka výsledkov

Štatistické závery testu pre rozdiel					
Skúška	Zmena absorpcie [a.u.]	Počet správnych odpovedí	P-hodnota	Hladina testu	Záver testu
P10	-0.056 (A)	4/6	0.100	0.05	N
P30	-0.081	5/7	0.045	0.05	Z
P20	-0.058	3/9	0.623	0.05	N
E20	-0.064	6/9	0.042	0.05	Z
PD34	-0.165	4/7	0.173	0.05	N
E30	-0.046	2/6	0.649	0.05	N
E50	-0.086	6/9	0.042	0.05	Z
PD56	-0.077	2/5	0.539	0.05	N
P40	-0.097	3/6	0.320	0.05	N
P20	-0.067	2/7	0.737	0.05	N

Rozhodnutia o závere testu na základe p-hodnoty korešponujú s rozhodnutiami urobené na základe normy (ČSN EN ISO 4120, 2009).

Môžeme vidieť, že len v troch prípadoch sa nám podarilo zamietnuť nulovú hypotézu o existencii vnímateľného rozdielu medzi vzorkami. Konkrétne u skúškach opísaných v sekciách 4.2, 4.4 a 4.7. Dvakrát sa to podarilo u pív značky Excelent 11° a raz u piva značky Pilsner Urquell.

5.3.1 Analýza absorpcií vzoriek piva Pilsner Urquell

Môžeme sledovať približne postupný nárast pomeru správnych odpovedí spolu so zvyšujúcou sa zmenou absorpcie poškodenej vzorky. Tento trend je skreslený faktormi opísanými v sekcii 5.2.

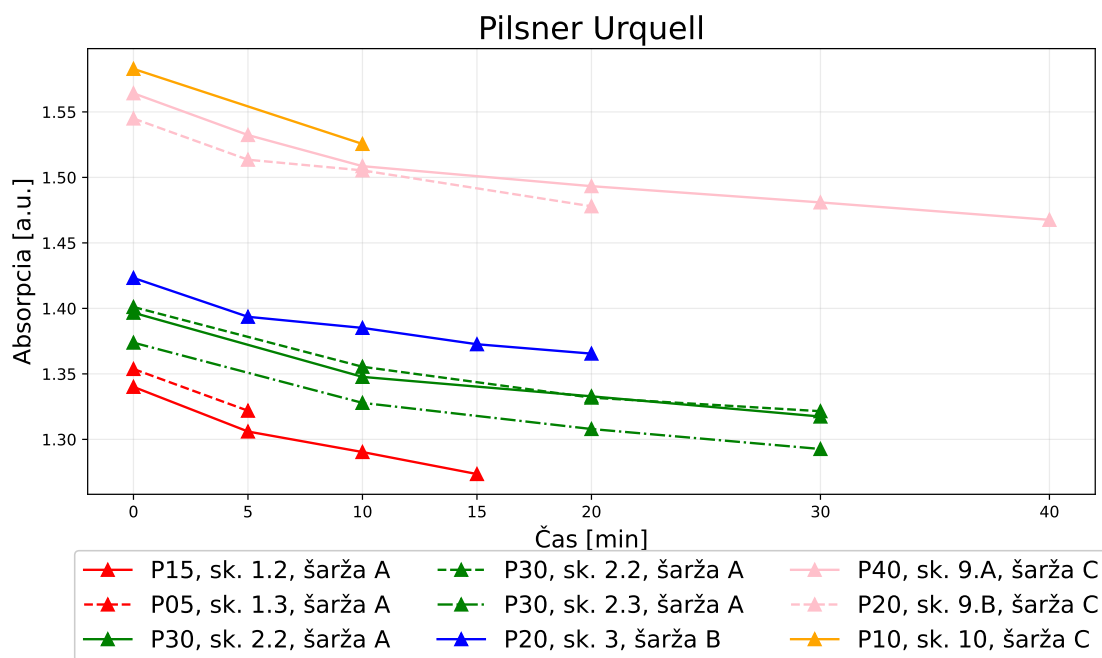
Z našich výsledkov nie je úplne možné jednoznačne stanoviť hranicu rozpoznateľnosti, avšak skúsime spraviť na základe našich dát odhad. Ako prvé si môžeme všimnúť, že vo všetkých prípadoch, v ktorých bola zmena absorpcie v absolútnej hodnote menšia ako 0.067 (a.u.) sa posudzovateľom nepodarilo výrazne uspieť. Z toho vyplýva, že na dosiahnutie poškodenia piva, ktoré je za hranicou rozpoznateľnosti je potrebné vzorku svetelne poškodiť aspoň do takej miery, aby sa absorpcia zmenila o 0.067 (a.u.) To približne zodpovedá zrýchlenému osvetľovaniu piva po dobu okolo 15 až 20 minút v závislosti na konkrétnej fľaši a jej absorpcie.

Posudzovatelia dokázali štatisticky rozpoznať pivo odegustované v poradí druhej skúške, ožiarené po dobu 30 minút so zmenou absorpcie na úrovni cca 0.08 (a.u.) v absolútnej hodnote. Naopak ale pivo, odegustované v poradí deviatej skúške, ktoré bolo ožiarené po dobu 40 minút so zmenou absorpcie o 0.0966 (a.u.) sa panelu nepodarilo rozlíšiť. Predpokladáme samozrejme, že väčšie rozdiely medzi vzorkami vedú k lepšiemu rozpoznaníu medzi poškodenými a nepoškodenými vzorkami.

Keďže ale vplyvným faktorom boli štatistické problémy, ktoré sme rozoberali v sekcii 5.2, nemôžeme vylúčiť, keďže sa jedná o malú vzorku posudzovateľov, že výsledok bol ovplyvnený schopnosťou prítomných posudzovateľov.

Na jednoznačné určenie hranice by bolo preto potrebné získať ďalšie dáta, ktoré by nám presnejšie ukázali, či odsledovaných 81 tisícín (a.u.) je nad hranicou rozpoznateľnosti.

Na nasledujúcom grafe sú pre lepšie porovnanie vykreslené vývoje všetkých vzoriek, ktoré boli zrýchlene poškodené. V popisku je vždy napísané, v ktorej skúške bola vzorka použitá, ako dlho bola zrýchlene poškodzovaná a z ktorej šarže pochádza. Trojuholníky na grafe zaznamenávajú jednotlivé merania, hodnoty medzi meraniami boli lineárne interpolované.



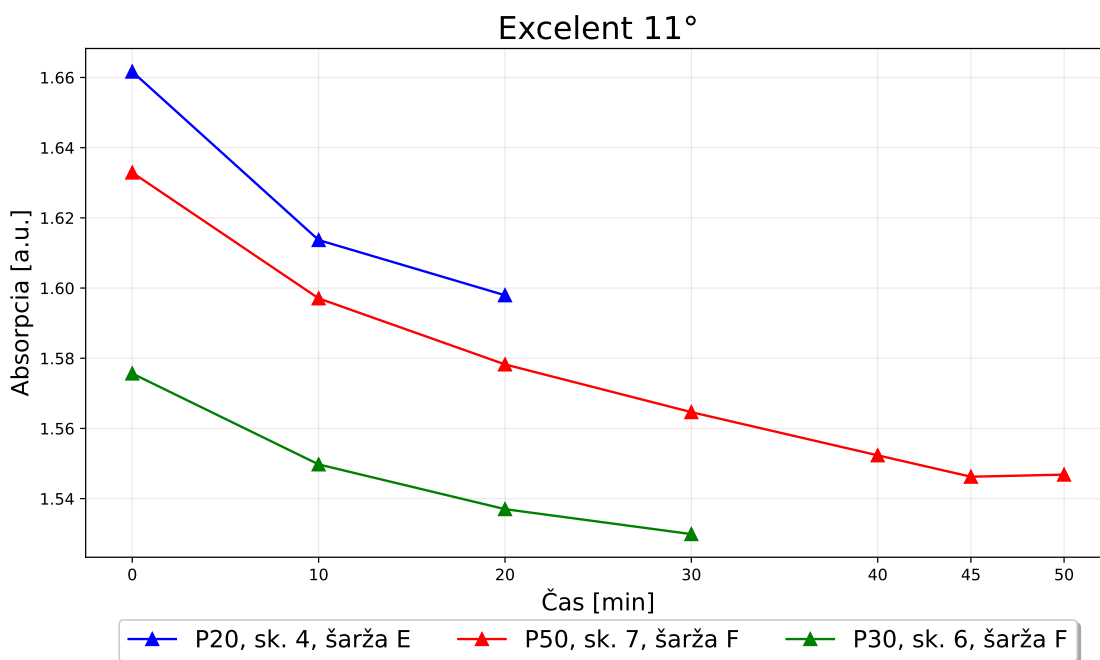
Obr. 5.1: Vývoj absorpcií v osvetlovaných pivách značky Pilsner Urquell

Môžeme si všimnúť, že vývoj absorpcií jednotlivých fľašiek je na pohľad pre všetky vzorky približne rovnaký.

Za ďalšiu zaujímavú zmienku stojí, že počiatkové absorpcie fľaší v rovnakých šaržiah majú veľmi podobné počiatkové hodnoty absorpcií, napríklad pri porovnaní počiatkových absorpcií fľaší zo šarže A a šarže C vieme vzorky podľa počiatkových absorpcií jednoznačne rozdeliť do dvoch skupín. Môžeme si všimnúť, že počiatkové absorpcie v rámci jednej šarže majú celkom veľkú odchylku, rádovo medzi 0.05 – 0.10 (a.u.) (cca až 3% – 7%), ktorá je väčšia ako chyba merania.

5.3.2 Analýza absorpcií vzoriek piva Excelent 11°

Nasledujúci graf zobrazuje vývoje všetkých vzoriek piva Excelent 11°, ktoré boli zrýchlene poškodené. V popisku je vždy napísané, v ktorej skúške bola vzorka použitá, ako dlho bola zrýchlene poškodzovaná a z ktorej šarže pochádza. Trojuholníky na grafe zaznamenávajú jednotlivé merania, hodnoty medzi meraniami boli lineárne interpolované.



Obr. 5.2: Vývoj absorpcií v osvetľovaných pivách Excelnetu 11°

Ako prvé si všimnime, že počiatkové absorpcie piva Excelent 11° sú oproti pivu Pilsner Urquell vyššie a klesajú oveľa pomalšie.

Vývoj absorpcie vzorky, ktorá bola poškodzovaná 20 minút a tej, čo bola poškodzovaná 50 minút je navzájom veľmi podobný, naproti tomu u vzorky, ktorá bola ožiarená len 20 minút, môžeme pozorovať prudký pokles absorpcie vzorky počas prvých 10 minút. Keď si to porovnáme s výsledkami, ktoré zaznamenali posudzovatelia počas skúšok, zhrnuté v tabuľke 5.1, môžeme vidieť, že posudzovatelia dokázali vo výrazne vyšších počtoch rozlíšiť v prípadoch skúšky E20 a E50, ale naopak v prípade E30 pohoreli. Z tabuľky je takisto vidno, že v prípadoch skúšok E20 a E50 sa jedná o štatisticky významnú časť posudzovateľov.

Na tejto ilustrácii môžeme pozorovať význam zmeny absorpcie pre určenie miery svetelného poškodenia piva. V prípade skúšky E30 poškodzovaná vzorka bola osvetľovaná o 10 minút dlhšie, napriek tomu ale zmena absorpcie vzorky použitej v skúške E20 bola vyššia. Výsledok posudzovateľov v prípade skúšky E20 bol markantne lepší ako v prípade E30.

Pri skúškach, v ktorých posudzovatelia mali rozpoznať svetelne poškodený Excelent 11° od nepoškodeného je možné určiť hranicu rozpoznateľnosti na základe výsledkov oveľa jednoznačnejšie ako v prípade pív Pilsner Urquell. Vzorky so zmenenou absorpciou na úrovni 0.0637 (a.u.) už dokázalo rozpoznať štatisticky významné množstvo posudzovateľov. Vzorku s ešte väčšou zmenou absorpcie v absolútnej hodnote dokázala takisto štatisticky významna časť panelu rozpoznať. Naopak, v prípade 30 minút poškodzovaného piva, ktorého absorpcia sa zmenila o vyššie 0.045 (a.u.) ho posudzovatelia nedokázali určiť správne. Preto môžeme predpokladať, že hranica sa nachádza niekde medzi zmenou absorpcie vzorky na úrovni 46 až 63 tisícín (a.u.).

Treba ešte dodať, že výsledky mohli byť skreslené faktormi popísanými v sekcii 5.2.

5.3.3 Štatistické výsledky pre test pre podobnosť

Ak by sme na dátach skúšali testovať podobnosť presným testom, opísaným v druhej kapitole, na hladine $\alpha = 0.05$ a so zvoleným $p_0 = 0.5$, dosiahli by sme nasledujúce výsledky

Tabuľka 5.2: Tabuľka záverov testov pre podobnosť

Štatistické závery testu pre podobnosť					
Skúška	Zmena absorpcie [a.u.]	Počet správnych odpovedí	P-hodnota	Hladina testu	Záver testu
P10	-0.050	4/6	0.891	0.05	N
P30	-0.081	5/7	0.938	0.05	N
P20	-0.058	3/9	0.254	0.05	N
E20	-0.064	6/9	0.910	0.05	N
PD34	-0.165	4/7	0.773	0.05	N
E30	-0.046	2/6	0.344	0.05	N
E50	-0.086	6/9	0.910	0.05	N
PD56	-0.077	2/5	0.500	0.05	N
P40	-0.097	3/6	0.656	0.05	N
P20	-0.067	2/7	0.227	0.05	N

Vo všetkých skúškach by sme museli nulovú hypotézu testu o podobnosti pri zvolenej hladine a hranici podobnosti nezamietnuť. P-hodnoty testov sú vysoké, pri všetkých testoch nad hodnotou 0.2, väčšinou dokonca aj výrazne nad ňou.

5.4 Vplyv pohlavia

Pre lepšie porovnanie vplyvu pohlavia uvádzame tabuľku výsledkov rozdelených podľa pohlavia. V tabuľke je pri každej skúške, označenej rovnakým spôsobom ako v celej práci, uvedený pomer správnych odpovedí v konkrétnej skúške pre obe pohlavia. V poslednom riadku je uvedený celkový pomer správnych odpovedí rozdelený podľa pohlavia. Výsledky uvádzame v chronologickom poradí

Výsledky podľa pohlavia				
Skúška	Dátum	Muži	Ženy	Panel celkom
P10	7.12.2022	1/3	3/3	4/6
P30	15.12.2022	3/3	2/4	5/7
P20	19.1.2023	1/4	2/5	3/9
E20	26.1.2023	4/6	2/3	6/9
PD34	14.2.2023	3/6	1/1	4/7
E30	16.2.2023	2/5	0/1	2/6
E50	23.2.2023	4/6	2/3	6/9
PD56	9.3.2023	0/3	2/2	2/5
P20	30.3.2023	0/3	2/4	2/7
P40	30.3.2023	2/4	1/2	3/6
Spolu		20/43	17/28	37/71

Keď si dáta zoradíme do kontingenčnej tabuľky počtov správnych a nesprávnych odpovedí rozdelených podľa pohlavia, dostaneme nasledujúcu kontingenčnú tabuľku

	Správne	Nesprávne	Spolu
Muži	20	23	43
Ženy	17	11	28
Spolu	37	34	71

Použitím Fisherovho presného testu, ktorý je opísaný v (Anděl, 1998), na kontingenčnú tabuľku uvedenú vyššie v Rku pomocou príkazu `fisher.test` sme na hladine významnosti $\alpha = 0.05$ testovali nulovú hypotézu, že úspešnosť v trojuholníkovej skúške nezávisí na pohlaví. Vyšla nám pri p -hodnota rovná 0.33, čo považujeme za štatisticky nízku hodnotu signifikácie testu a preto nemôžeme zamietnuť nulovú hypotézu.

Na jednoznačný záver by bolo potrebné spraviť podrobnejšiu analýzu, ktorou sa ešte plánujeme zaoberať.

5.5 Korelácia zmeny absorpcie a priepustnosti fľaše

Na záver sa pokúsime dať do korelácie optometrické merania absorpcií fliaší so zmenou absorpcií po 10 minútach osvetlenia vo vzorkách pív oboch druhov. Absorpciu fľaše sme namerali takým spôsobom, že po odegustovaní vzoriek sme tieto fľaše napustili destilovanou vodou a odmerali ich absorpciu. Tým sme zistili, koľko svetla absorbuje samotná fľaša.

Nakoľko pivo Excelent 11° je, čo sa chemického zloženia a obsahu riboflavínu týka, takmer rovnaké pivo ako Pilsner Urquell, ktoré je načapované iba do trochu odlišne zafarbenej fľašky, budeme koreláciu počítat spoločne z dát získaných zo vzoriek oboch druhov piva.

Na výpočet korelácie sme použili odhad Pearsonovho korelačného koeficientu pomocou výberového korelačného koeficientu $\hat{\rho}$ definovaného pre dva náhodné výbery X_1, X_2, \dots, X_n a Y_1, Y_2, \dots, Y_n o rozsahu $n \in \mathbb{N}$, ako

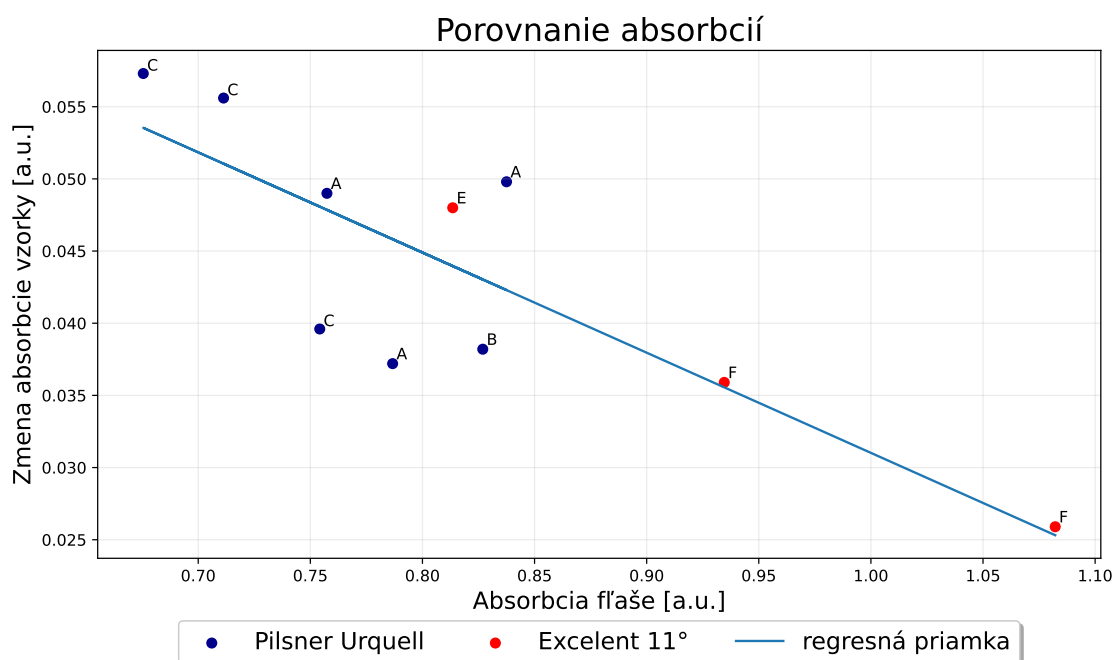
$$\hat{\rho}_n = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}_n)(Y_i - \bar{Y}_n)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}_n)^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y}_n)^2}}.$$

Z nameraných dát, ktoré sme získali nielen z fliašiek pužitých pri degustáciach, sme napočítali odhad korelačného koeficientu. Všetky hodnoty, ktoré sme použili pri výpočte uvádzame v nasledujúcej tabuľke

Tabuľka zmien absorpcií a absorpcií fliaš		
Šarža	Zmena absorpcie (10 min osvit) [a.u.]	Absorpcia fliaše
A	-0.037	0.787
A	-0.050	0.838
A	-0.049	0.757
B	-0.038	0.827
C	-0.056	0.711
C	-0.040	0.754
C	-0.057	0.676
E	-0.048	0.814
F	-0.036	0.935
F	-0.026	1.082
Pearsonov výberový korelačný koeficient		0.826

Z výpočítaného korelačného koeficientu, ktorého hodnota vyšla vysoká, vidíme, že zmena absorpcie vzorky po 10 minútach definovaného poškodzovania koreluje s absorpciou fliaše. Teda, inak povedané, čím je nižšia absorpcia samotnej fliaše, tým vyššia je absolútna zmena absorpcie vzorky po 10 minútach. To celkom presne zodpovedá predstave, že čím viac svetla odfiltruje fliaša, tým menšou svetelnou intenzitou bude osvetlené samotné pivo. To má za následok, že jeho poškodenie bude za rovnaký čas menšie.

Na nasledujúcom grafe sú pre lepšiu predstavu vykreslené vzorky ako body s hodnotou absorpcie fliaše na x-ovej ose a zmenou absorpcie po 10 minútach osvetľovania na y-ovej ose. Hodnoty zmeny absorpcie uvádzame pre prehľadnosť v absolútnej hodnote. Vzorky sú farebne odlišené podľa druhu piva a pri jednotlivých bodoch je vyznačené, do akej šarže daná vzorka prislúcha. Body boli preložené regresnou priamkou vyznačenou v grafe. Pre presnejšie výsledky by bolo ešte potrebné porovnať viaceré druhy piva. V ďalšej analýze budeme ešte pokračovať.



Obr. 5.3: Porovnanie absorpcií fliaš a zmeny absorpcií po 10 minútach osvetľovania.

Záver

Počas našich pokusov sme sa snažili s využitím degustačných panelov laických konzumentov piva zistiť, ako veľmi svetlom poškodené pivo sú ľudia schopní rozpoznať od nepoškodeného. Zorganizovali sme v priebehu pol roka desať panelových degustácií, na ktorých sa zúčastnilo dokopy až štyridsaťjeden posudzovateľov.

Vysvetlili sme štatistické testy používané v normách na dáta získané z trojuholníkových skúšok. Predviedli sme Thurston-Ura model pre trojuholníkovú skúšku a ukázali ekvivalenciu testov založených na tomto modeli a tých opísaných v normách. Uviedli sme aj možnú modifikáciu, ktorú je možné uplatniť v skúškach pre zpresnenie výsledkov.

Zhrnuli sme štatistické a organizačné problémy, na ktoré sme narazili a na ktoré z povahy organizácie experimentu narazí každý organizátor podobných sensometrických skúšok. Ukázali sme, ako sme sa pri organizácii degustácií s problémami popasovali ako návrhy možných riešení týchto problémov.

Podarilo sa nám, ako jeden z hlavných výsledkov, zistiť, že už po absolvovaní jednej trojuholníkovej skúšky sú v dôsledku únavy schopnosti posudzovateľov a nasýtenia vzduchu letenkovým zápachom výsledky všetkých nasledujúcich skúšok skreslené. To aj napriek tomu, že miestnosť, kde sa degustácie odohrávali, bola priestranná, prevetrávaná a posudzovatelia mali medzi sebou zabezpečené rozostupy väčšie ako 3 metre.

Vyhodnotili sme štatistické testy pre rozdiel a zistili, že len v troch z desiatich uvažovaných skúškach sa podarilo štatisticky významnej časti posudzovateľov správne určiť poškodenú vzorku, viď tabuľka 5.1. Podobnosť u vzoriek sa ukázala na základe štatistických testov pre podobnosť ako málo významná, čo vidno v tabuľke 5.2.

Porovnali sme optometrické merania absorpcií vzoriek dvoch druhov pív a porovnali ich s výsledkami organizovaných degustácií. Na ich základe sme spravili odhad hranice rozpoznateľnosti, teda takého poškodenia piva, že štatisticky významné množstvo posudzovateľov je schopné rozpoznať rozdiely medzi poškodeným a nepoškodeným pivom. Spravili sme tak pre pivo Pilsner Urquell, kde sme túto hranicu odhadli, že je vyššia u zrýchlených skúšok ako 0.067 (a.u.) zmeny absorpcie. Pre pivo Excelent 11° sme odhadli, že hranica leží medzi 0.046 a 0.067 (a.u.) zmeny absorpcie.

Všimli sme si na grafoch 5.1 a 5.2, že vývoj absorpcií jednotlivých vzoriek piva je podobný, aj keď ich počiatočná hodnota sa líši. Takisto z grafov je vidno, že vzorky piva Excelent 11° majú počiatočné absorpcie vyššie ako vzorky piva Pilsner Urquell.

Porovnali sme vplyv pohlavia na úspešnosť posudzovateľov pri rozoznávaní poškodených a nepoškodených pív. Využili sme na to presný Fisherov test, v ktorom nám vyšla p-hodnota 0.33 a nepodarilo sa nám na hladine významnosti $\alpha = 0.05$ vyvrátiť nulovú hypotézu, že pohlavie nemá vplyv na schopnosť rozpoznať piva. Ale aj tak sa zdá, že ženy sú v rozoznávaní svetelene poškodeného piva o niečo lepšie ako muži.

Ďalej sme ukázali, že absorpcia fľaše a zmena absorpcie vzorky po 10 minútach ožiarovania spolu korelujú. Výberový pearsonov korelačný koeficient nám vyšiel rovný 0.826, čo predstavuje vysokú hodnotu korelácie. Koreláciu sme počítali zo vzoriek oboch druhov pív. To nám ukazuje, že spolu s rastúcou absorpciou fľaše klesá absolútna hodnota zmeny absorpcie vzorky po 10 minútach poškodzovania.

Celkovo táto práca môže slúžiť ako návod na plánovanie a organizovanie podobných sensometrických skúšok spolu so štatistickým testovaním výsledkov. Dalo by sa v ďalších experimentoch a ich a analýze pokračovať, čo aj máme v pláne v budúcnosti spraviť.

Zoznam použitej literatúry

- ANDĚL, J. (1998). *Statistické metody*. Druhé přepracované vydání. Matfyzpress, Praha. ISBN 80-85863-27-8.
- BRADLEY, R. A. a HARMON, T. J. (1964). The modified triangle test. *Biometrics*, **20** (3), 608–625.
- CICHROVÁ, M. (2021). Thurstonovské a statistické modely v sensometrice. Bachelor's thesis, Univerzita Karlova, Matematicko-fyzikální fakulta.
- GABRIEL, P., ŠKODA, J., BENEŠOVÁ, K. a MATOULKOVÁ, D. (2022). Direct detection of beer photodegradation in commercial bottles and introduction of a new light-struck flavour susceptibility index. *KVASNY PRUMYSL*, pages 656–662.
- HOPKINS, J. W. a GRIDGEMAN, N. T. (1955). Comparative sensitivity of pair and triad flavor intensity difference tests. *Biometrics*, pages 63–68.
- LAWLESS, H. T. a HEYMANN, H. (2010). *Sensory evaluation of food*. Springer Science+Business Media, LLC, 233 Spring Street, New York, NY 10013, USA. ISBN 978-1-4419-6487-5.
- RYCHTEROVÁ, N. (2019). Testování ekvivalence a noninferiority. Master's thesis, Univerzita Karlova, Matematicko-fyzikální fakulta.
- STONE, H. a SIDEL, J. L. (2004). *Sensory Evaluation Practices*. Third Edition. San Diego.
- THURSTON, L. L. (1927a). A law of comparative judgment. *Psychological Review*.
- THURSTON, L. L. (1927b). Psychophysical analysis. *The American Journal of Psychology*.
- ČSN EN ISO 4120 (2009). Senzorická analýza - metodologie - trojúhelníková zkouška. *Úřad pro technickou normalizaci metrologii a státní zkušebnictví*.
- ŠKODA, J. (2014). Studium tepelné a světelné degradace piva a dalších fermentovaných nápojů. Master's thesis, Univerzita Karlova, Matematicko-fyzikální fakulta.