

Diplomová práce

Vliv teploty a vlhkosti na vlastnosti ochranných prostředků dýchacích cest

Studijní program:

N0723A270001 Textilní inženýrství

Autor práce:

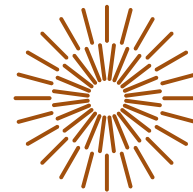
Bc. Tetiana Melenova, DiS.

Vedoucí práce:

Ing. Katarína Zelová, Ph.D.

Katedra oděvnictví

Liberec 2023



Zadání diplomové práce

Vliv teploty a vlhkosti na vlastnosti ochranných prostředků dýchacích cest

Jméno a příjmení:

Bc. Tetiana Melenova, DiS.

Osobní číslo:

T20000041

Studijní program:

N0723A270001 Textilní inženýrství

Zadávající katedra:

Katedra oděvnictví

Akademický rok:

2020/2021

Zásady pro vypracování:

1. Realizujte průzkum trhu ochranných pomůcek dýchacích cest a charakterizujte je z hlediska materiálového složení, tvaru a funkčnosti.
2. Proveďte rešerši zaměřenou na vlastnosti a možnosti hodnocení obličejových masek (zdravotnických a osobních ochranných prostředků). Na základě provedené rešerše specifikujte důležité užité a funkční vlastnosti ochranných obličejových masek.
3. Navrhněte experiment pro hodnocení vybraných užitečných vlastností a prodýchatelnosti ochranných obličejových masek. V laboratorních podmínkách simulujte užívání ochranných prostředků dýchacích cest (vliv teploty a vlhkosti).
4. Zhodnoťte vliv teploty a vlhkosti na vybrané vlastnosti ochranných obličejových masek.

Rozsah grafických prací: dle rozsahu dokumentace
Rozsah pracovní zprávy: cca 60 stran
Forma zpracování práce: tištěná/elektronická
Jazyk práce: Čeština

Seznam odborné literatury:

- ČSN EN 14683+AC (85 5812) – Zdravotnické obličejové masky – Požadavky a metody zkoušení, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2020.
- CLAPP, P.W., SICKBERT-BENNETT, E.E., SAMET, J.M., ET AL. Evaluation of Cloth Masks and Modified Procedure Masks as Personal Protective Equipment for the Public During the COVID-19 Pandemic. JAMA Intern Med. 2021;181(4):463-469.
- ZIMNIEWSKA, M., WITMANOWSKI, H., KICINSKA-JAKUBOWSKA, A, et al. Assessment of the possibility of surgical masks re-use after a sterilization process in the pandemic condition of COVID-19. Textile Research Journal. 2022;92(17-18):3082-3096.
- FREEMAN, C., BURCH, R., BLACK, C., et al. Filtration efficiency and differential pressure of fabrics used in non-medical masks based on SARS COVID-19 particle size. Textile Research Journal. 2022;92(17-18):3234-3242.

Vedoucí práce: Ing. Katarína Zelová, Ph.D.
Katedra oděvnictví

Datum zadání práce: 5. května 2021
Předpokládaný termín odevzdání: 2. června 2023

L.S.

doc. Ing. Vladimír Bajzík, Ph.D.
děkan

prof. Dr. Ing. Zdeněk Kůs
vedoucí katedry

V Liberci dne 3. května 2023

Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci jsem vypracovala samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Jsem si vědoma toho, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědoma povinnosti informovat o této skutečnosti Technickou univerzitu v Liberci; v tomto případě má Technická univerzita v Liberci právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má diplomová práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědoma následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala především vedoucí mé diplomové práce Ing. Kataríně Zelové, Ph.D. za nesmírně vstřícný přístup, odborné vedení a bleskovou reakci.

Dále mé poděkování patří Ing. Oksaně Vojtenko, Ph.D. a Ing. Michalovi Chotěborovi za odborné vedení při práci v laboratořích KOD TUL.

V neposlední řadě velké poděkování patří mé rodině a přátelům, kteří ve mě věřili a podporovali mě během celé doby studia.

Anotace

Diplomová práce se věnuje analýze klíčových vlastností ochranných obličejových masek. Teoretická část popisuje účely použití obličejových masek a definuje klasifikaci masek dle jejich certifikace. Praktická část je zaměřena na hodnocení prodyšnosti, prodýchatelnosti a propustnosti vodních par přes textilní vrstvy, používané pro výrobu obličejových masek, a analyzuje vliv teploty a vlhkosti na tyto vlastnosti v průběhu nošení masek. Závěr práce je věnován zhodnocení vlivu teploty a vlhkosti na vybrané uživatelské vlastnosti obličejových masek.

Klíčová slova: obličejové masky, ochrana dýchacích cest, prodyšnost textilie, prodýchatelnost masek, propustnost vodních par přes textilie.

Anotation

The diploma thesis deals with the analysis of the key properties of protective face masks. The theoretical part describes the purposes of using face masks and defines the classification of masks according to their certification. The practical part is focused on the evaluation of air permeability, air flow resistance and water vapor permeability through textile layers used for the production of face masks, and analyzes the effect of temperature and humidity on these properties during mask wearing. The conclusion of the thesis is devoted to the evaluation of the influence of temperature and humidity on selected user properties of face masks.

Keywords: face mask, respiratory protection, air permeability of textiles, air flow resistance of masks, water vapour permeability of textiles.

Obsah

<u>SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ</u>	<u>9</u>
<u>ÚVOD</u>	<u>10</u>
<u>1. SPECIFIKACE OCHRANNÝCH POMŮCEK DÝCHACÍCH CEST.....</u>	<u>11</u>
1.1 FILTRAČNÍ POLOMASKY – RESPIRÁTORY (OOP)	11
1.2 ZDRAVOTNICKÉ OBLIČEJOVÉ MASKY (ZP)	12
1.3 RESPIRÁTORY (OOP+ZP)	12
1.4 NEZDRAVOTNICKÉ LÁTKOVÉ MASKY	13
<u>2. PRŮZKUM TRHU.....</u>	<u>14</u>
2.1 DESIGN OBLIČEJOVÝCH MASEK	15
2.2 TESTOVÁNÍ OBLIČEJOVÝCH MASEK DLE PLATNÝCH NOREM	18
2.2.1 CERTIFIKACE OOP	18
2.2.2 CERTIFIKACE ZP	20
<u>3. TEXTILIE POUŽÍVANÉ PRO VÝROBU OBLIČEJOVÝCH MASEK.....</u>	<u>22</u>
3.1 NETKANÉ TEXTILIE.....	22
3.1.1 METODY VÝROBY NETKANÝCH TEXTILII.....	23
3.2 VLASTNOSTI NORMALIZOVANÝCH OBLIČEJOVÝCH MASEK	24
3.2.1 FILTRAČNÍ ÚČINNOST VS PRODYŠNOST	24
<u>4. EXPERIMENT PRO HODNOCENÍ VYBRANÝCH UŽITNÝCH VLASTNOSTÍ OCHRANNÝCH OBLIČEJOVÝCH MASEK.....</u>	<u>26</u>
4.1 CHARAKTERISTIKA MASEK POUŽITÝCH PRO EXPERIMENT	26
4.2 CHARAKTERISTIKA POUŽITÝCH ZAŘÍZENÍ.....	28

4.2.1	STANOVENÍ PLOŠNÉ HMOTNOSTI TEXTILNÍCH VRSTEV POUŽITÝCH PRO VÝROBU OCHRANNÝCH OBLIČEJOVÝCH MASEK.....	28
4.2.2	STANOVENÍ TLOUŠŤKY TEXTILNÍCH VRSTEV POUŽITÝCH PRO VÝROBU OCHRANNÝCH OBLIČEJOVÝCH MASEK	29
4.2.3	SIMULACE UŽÍVÁNÍ – PŮSOBENÍ TEPLoty A VLHKOSTI.....	30
4.2.4	STANOVENÍ PRODYŠNOSTI TEXTILNÍCH VRSTEV POUŽITÝCH PRO VÝROBU OCHRANNÝCH OBLIČEJOVÝCH MASEK	30
4.2.5	STANOVENÍ PRODÝCHATELNOSTI TEXTILNÍCH VRSTEV POUŽITÝCH PRO VÝROBU OCHRANNÝCH OBLIČEJOVÝCH MASEK.....	31
4.2.6	STANOVENÍ PROPUSTNOSTI VODNÍCH PAR PŘES TEXTILNÍ VRSTVY POUŽITÉ PRO VÝROBU OCHRANNÝCH OBLIČEJOVÝCH MASEK.....	32
4.3	VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH DAT	34
4.3.1	VYHODNOCENÍ PLOŠNÉ HMOTNOSTI TEXTILNÍCH VRSTEV POUŽITÝCH PRO VÝROBU OBLIČEJOVÝCH MASEK 34	
4.3.2	VYHODNOCENÍ TLOUŠŤKY VZORKŮ	36
4.3.3	VYHODNOCENÍ PRODYŠNOSTI A VLIVU UŽÍVÁNÍ MASEK NA PRODYŠNOST TEXTILNÍCH VRSTEV	38
4.3.4	VYHODNOCENÍ PRODÝCHATELNOSTI A VLIVU UŽÍVÁNÍ MASEK NA PRODÝCHATELNOST TEXTILNÍCH VRSTEV 43	
4.3.5	VYHODNOCENÍ PROPUSTNOSTI VODNÍCH PAR A VLIVU UŽÍVÁNÍ MASEK NA PROPUSTNOST VODNÍCH PAR PŘES TEXTILNÍ VRSTVY	50
5.	<u>DISKUZE VÝSLEDKŮ</u>	60
6.	<u>ZÁVĚR.....</u>	65
	<u>BIBLIOGRAFIE</u>	66
	<u>SEZNAM OBRÁZKŮ.....</u>	68
	<u>SEZNAM TABULEK.....</u>	70
	<u>PŘÍLOHA 1 – VÝSLEDKY MĚŘENÍ PROPUSTNOSTI VODNÍCH PAR</u>	I

Seznam použitých zkratk a symbolů

OZNAČENÍ	VYSVĚTLENÍ
Apod.	A podobně
BFE	Účinnost bakteriální filtrace
CEN	Evropské normalizační organizace
CENELEC	
ETSI	
EU	Evropská unie
FPP	Účinnost filtrace částic
NT	Netkané textilie
Obr.	Obrázek
OOP	Osobní ochranné prostředky
PC	Polykarbonát
PE	Polyetylen
PES	Polyester
Podkap.	Podkapitola
PP	Polypropylen
PVDF	Polyvinylidenfluorid
Tab.	Tabulka
VFE	Účinnost virové filtrace
V-sti	Vlastnosti
WHO	Světová zdravotnická organizace
ZP	Zdravotnické prostředky

Úvod

Diplomová práce je zaměřena na problematiku masového využití ochranných prostředků dýchacích cest a vlivu teploty a vlhkosti na vybrané uživatelské vlastnosti obličejových masek v průběhu použití.

Obličejové masky byly široce využívány ve zdravotnictví a nebezpečném průmyslovém prostředí. S vyhlášením globální pandemie koronaviru na začátku roku 2022 se nošení ochranných prostředků dýchacích cest stalo povinností ve všech prostorách mimo domácnost. Obličejová maska se tak stala prvořadým celosvětově produktem. V návaznosti na globální poptávku vznikla postupně i široká nabídka těchto produktů. Ke stávajícím společnostem pro výrobu masek a netkaných textilií se přidalo velké množství nově vzniklých firem.

K dvěma klíčovými vlastnostem obličejových masek patří účinnost (filtrační schopnost) a prodyšnost (komfort). V důsledku velké konkurence na trhu byla snaha výrobců především zvyšovat filtrační schopnosti svých produktů, což vedlo také k využití nanovláknenných filtračních membrán, o nichž se tvrdilo, že neztrácí svou účinnost ani po delší době.

Souvislost mezi účinností a prodyšností masek se logicky projevuje jako velmi závislá – zvýšením filtrační schopnosti se pochopitelně snižuje prodyšnost. Vlivem vlhkého dechu působícího na obličejovou masku během nošení se deklarované vlastnosti produktu mohou měnit.

Tato práce je věnovaná analýze vlivu teploty a vlhkosti na prodyšnost, prodýchatelnost a propustnost vodních par přes textilní vrstvy používané pro výrobu obličejových masek. Do výzkumu jsou zahrnuty různé typy obličejových masek včetně masek s použitím nanovláknenných membrán. Pro simulaci nošení (vliv teploty a vlhkosti) byla použita klimatizovaná komora, kde vzorky textilních vrstev podléhaly vlivu teploty a vlhkosti v různých časových intervalech do maximální doby 24 hod. Ve výsledku bude analyzována také míra vlivu teploty a vlhkosti na různé typy obličejových masek dostupných na trhu v druhé polovině roku 2022. Dále bude doporučena doba nošení masek, během které se vliv teploty a vlhkosti na vybrané vlastnosti prokáže jako statisticky nevýznamný.

1. Specifikace ochranných pomůcek dýchacích cest

Ochranné pomůcky dýchacích cest neboli obličejové masky lze rozdělit dle přiděleného účelu použití do třech sektorů:

- osobní ochranné prostředky (OOP)
- zdravotnické prostředky (ZP)
- oba sektory současně (OOP+ZP)

Uvedené sektory výrobků spadají do harmonizované sféry. (1)

Harmonizované normy jsou zpracovávány evropskými normalizačními organizacemi CEN, CENELEC, ETSI na základě požadavku Evropské komise. Evropské normy se stávají harmonizovanými až po oznámení v řadě C Úředního věstníku EU (OJEU) k danému předpisu. ČSN se stává harmonizovanou českou technickou normou po plném přijetí požadavku evropské normy nebo harmonizačního dokumentu. (2)

Do dalšího sektoru obličejových masek lze zahrnout masky nespádající do harmonizované sféry. Jsou to obličejové masky nejrůznějších tvarů vyráběné z různých tkanin a pletenin a nejsou kvalifikované ani jako ZP ani jako OOP. Ve výzkumu Freemana (3) jsou označovány jako „Non-medical fabric masks“ – „nezdravotnické látkové masky“.

1.1 Filtrační polomasky – respirátory (OOP)

Do sektoru osobních ochranných prostředků kategorie III, dle nařízení EU 2016/425, řadíme obličejové masky označované jako filtrační polomasky nebo respirátory výrobcem určené k ochraně uživatele. Tyto ochranné prostředky nechrání okolí uživatele, a tak mohou, ale nemusí, být opatřeny výdechovým ventilem (viz obr.1). (1)

Závazným dokumentem pro testování ochranných prostředků kategorie III je norma ČSN EN 149:2001+A1:2009 pod názvem „Ochranné prostředky dýchacích orgánů – Filtrační polomasky k ochraně proti částicím – Požadavky, zkoušení a značení“. Tato norma specifikuje minimální požadavky na filtrační polomasky jako prostředky dýchacích orgánů k ochraně proti částicím s výjimkou únikových účelů. Pro posouzení schody s požadavky jsou zahrnuty laboratorní a praktické funkční zkoušky. Norma rozeznává, dle své filtrační účinnosti a maximálního celkového průniku, tři třídy ochrany: FFP1,

FPP2 a FPP3. Dále jsou filtrační polomasky tříděny buď pro jednorázové (NR), nebo pro opakované použití (R). (4)

1.2 Zdravotnické obličejové masky (ZP)

Do zdravotnických prostředků rizikové třídy I, dle nařízení EU 2017/745 se řadí zdravotnické obličejové masky určené výrobcem k ochraně okolí uživatele (viz obr.2).

(1)



Obrázek 1 - Filtrační polomaska. Zdroj: www.opharm.com

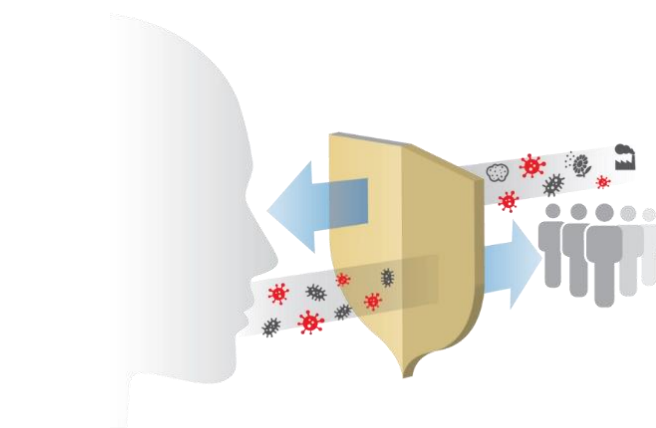


Obrázek 2 - Zdravotnická obličejová maska. Zdroj: www.opharm.com

Norma ČSN EN 14683+AC:2020 pod názvem „Zdravotnické obličejové masky – Požadavky a metody zkoušení“, vydaná 1. 2. 2020 nahrazuje normu ČSN EN 14683 z října 2019. Norma specifikuje konstrukci, design, výkonnostní požadavky a zkušební metody pro lékařské obličejové masky určené k omezení přenosu infekčních agens z personálu na pacienty během chirurgických zákroků. Lékařská obličejová maska s vhodnou mikrobiální bariérou může být také účinná při snižování emisí infekčních agens z nosu a úst asymptomatického nosiče nebo pacienta s klinickými příznaky. (5)

1.3 Respirátory (OOP+ZP)

Respirátory – obličejové masky, které jsou výrobcem určeny k ochraně uživatele a jeho okolí patří současně mezi osobní ochranné prostředky kategorie III podle nařízení EU 2016/425 a mezi zdravotnické prostředky rizikové třídy I podle nařízení EU 2017/745. Díky obousměrné ochraně (viz obr. 3) jsou tyto respirátory označovány jako nejvhodnější výrobky pro použití ve zdravotnictví v boji s onemocněním Covid-19, přičemž musí splňovat všechny požadavky normy ČSN EN 149:2001+A1:2009 pro určitou třídu ochrany a současně všechny požadavky normy ČSN EN 14683+AC. (1)



Obrázek 3 - Obousměrná ochrana. Zdroj: www.respilon.com

1.4 Nezdravotnické látkové masky

Vlivem pandemie covid-19 několikanásobně vzrostla poptávka pomůcek pro ochranu dýchacích cest. Nedostatek tohoto zboží na začátku roku 2020 vyvolal výrobu po domácku zhotovených obličejových masek z různých tkanin a pletenin. Celosvětová zdravotnická organizace WHO od roku 2020 doporučila nošení nezdravotnických látkových masek v kombinaci s fyzickým odstupem pro širokou veřejnost. Nebyl však určen výběr vhodných tkanin a pletenin pro zhotovení těchto výrobků, ani neexistuje žádná norma pro testování účinnosti filtrace těchto masek. (3)

V roce 2021 byly opublikované výsledky výzkumu Freemana a kol. (3) Účelem výzkumu bylo posoudit běžně používané materiály v nezdravotnických maskách z hlediska jejich schopnosti zmírnit šíření Covid-19. Sedm vybraných materiálů bylo testováno zejména na účinnost filtrace částic velikostně podobných SARS COVID-19. I když výsledkem této studie byla stanovená poměrně nízká filtrační účinnost (<16 %), v porovnání s normovanými filtračními stupni pro OOP (4) a ZP (5), nemělo by to být dle Freemana a col. (3) náznakem toho, že látkové masky nechrání před šířením COVID-19. Výsledek studie potvrzuje doporučení WHO (6) používat „non-medical fabric masks“ v kombinaci s fyzickým odstupem a správnou hygienou.

2. Průzkum trhu

Většina výrobců obličejových masek nabízí produkty sektoru OOP a ZP. Jen zřídka jsou představeny výrobky splňující požadavky obou sektorů současně, tedy respirátorů s obousměrnou ochranou. Ještě méně lze v dnešní době potkat výrobce nezdravotnických látkových masek z neharmonizované skupiny výrobků.

V této kapitole je provedena analýza vybraných výrobců harmonizovaných obličejových masek (viz tab. 1). Tyto firmy buď byly nově založeny, nebo pouze rozšířily svůj sortiment o tyto výrobky jako reakci na několikanásobné zvýšení poptávky na základě vypuknutí pandemie vyhlášené 11 března 2020 WHO. (6)

Z průzkumu vyplývá, že v dnešní době výrobci obličejových masek jsou převážně zaměřeni na dva typy produktů, které jsou doporučované pro omezení šíření Covid 19:

- ZP – zdravotnické obličejové masky typu IIR
- OOP – respirátory bez ventilu typu FFP2

Tabulka 1- Analýza výrobců ZP a OOP

VYROBCE	PRODUKT / TYP		FILTRACE [%]	TVAR	VRSTVY / MATERIÁL
Opharm	ZP / IIR		BFE > 98	skládací	3 / NT
	OOP / FFP2		PFE > 95	3D	5 / NT
	OOP / FFP3		PFE > 99		
	OOP/FFP3		PFE > 95	3D s vent.	
Respilon	OOP / FFP2	VK	PFE (99,7 – 99,9)	rybí, 3D	3 / Nano membrána
		Carbon White			
	R-shield				
Promedor24	ZP / IIR		-	skládací	3 / mikrovlákn
	OOP / FFP2		PFE > 95	3D	5 / NT
	OOP / FFP2 a ZP				
	OOP/FFP2				
Balerina	ZP / IIR		BFE > 99,9	skládací	3 / Nano membrána
	OOP+ZP	FFP2	PFE > 99,6	rybí, 3D	5 / Nano membrána
		FFP3		rybí	
	OOP / FFP2			3D	- / Spun., Meltblown
Royax	ZP / IIR		BFE > 99,7	skládací	3 / Spun., Meltblown
	OOP	FFP1	-	3D	4 / Spun., Meltblown
		FFP2	-		3 / Spun., Meltblown
		FFP3	-		4 / Spun., Meltblown
Safety Nano	ZP / IIR		BFE > 99,9	3D	(1:3) FNAO 1583 (PP)
					(2:3) Nano (PVDF)
					(3:3) Spunbond (PP)
General PP	ZP / IIR		BFE > 99,9	skládací	3 / Spun. (PP), Melt.
	OOP	FFP2	PFE > 95	3D	4 / Spun. (PP), Melt.
		FFP3	PFE > 99		
Spur	OOP / FFP2		PFE > 99,6	3D	5 / Spun., Meltblown
Spurtex	ZP / IIR		BFE > 99,7	skládací	4 / Nano (PVDF), (PP)
			BFE > 95		3 / Nano (PVDF), (VS)
	OOP	FFP2	PFE > 98,5	3d	7 / Nano (PVDF), (PP)
		FFP3	PFE > 99,9	rybí	
Goodmask	ZP / I		-	skládací	3 / Spun., Meltblown
	OOP	FFP2	PFE > 95	3D	3 / Spun., Meltblown
		FFP2	-		4 / Kompozit, spun., melt., nano (PVDF)
Nanolab	OOP / FFP2		PFE > 99,9	3D	- / Nano membrána

2.1 Design obličejových masek

Design je proces, jehož cílem je co nejefektivněji propojit estetickou a funkční stránku navrhovaného produktu.

Vzhledem k vysoké konkurenci je snaha přilákat zákazníka vzhledem obličejové masky, přičemž se klade důraz především na barevné provedení. Kromě obvyklé bílé a černé barvy pro respirátory, bílé a světlé modré pro skládací zdravotnické masky, je nabízena široká škála pastelových i tmavých odstínů pro oba typy produktu (viz obr. 4). Geometrické, květinové nebo dětské potisky se objevují nejen u produktů dětských velikostí. Nejširší škálu potisků (48 vzorů na různé téma) nabízí česká značka Balerina (viz obr.5). (7)

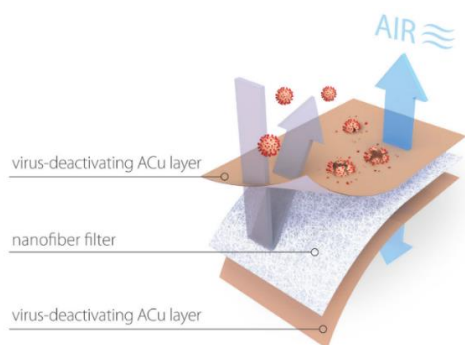


Obrázek 4 - Barevné varianty obličejových masek.
Zdroje: www.opharm.com a www.coolagency.cz



Obrázek 5 - Náhled vzorů obličejových masek. Zdroj:
www.balerina.cz

Česka firma Respilon v roce 2020 jako reakci na virovou pandemii představila revoluční řadu obličejové masky VK – OOP obohacenou o vrstvu urychlené mědi, která dle uvedení výrobce dokáže ničit viry a je možné ji používat opakovaně. Respirátory řady VK. FFP2 v měděné barvě pracují na principu dvojité bariéry – prostřední nanovláknenná vrstva má filtrační účinnost 99,7-99,9 %, vnější a vnitřní vrstvy respirátoru s urychlenou mědí deaktivují zachycené viry (viz obr. 6). Pro své designové řešení stojí za zmínku také ochrana dýchacích cest R-shield ve tvaru nákrčníku (viz obr. 7). I když filtrační schopnosti této pomůcky jsou díky nanomembráně hodně vysoké, není produkt označován výrobcem jako OOP. (8)



Obrázek 6 - Princip dvojité bariéry. Zdroj: www.respilon.com



Obrázek 7 - Nákrčník. Zdroj: www.respilon.com

Tvarová řešení obličejových masek jsou obvykle ustálena na tři základní typy:

- „3D“
- „fish-type“
- „skládací“

Polomasky dle ČSN EN 149+A1 mají zakrývat nos, ústa a bradu a poskytnout dobré těsnění při suché i vlhké pokožce i při pohybu hlavou. (4) Na trhu jsou známy dva hlavní tvary těchto obličejových masek: tak zvaný „3 D“ tvar, znázorněný výše na obr. 1, a „fish-type“ neboli rybí tvar (viz obr. 8). Výrobce Respilon (8) například uvádí, že uživatelé polomasky rybího tvaru budou snadno a srozumitelně mluvit během použití masky. Odsud vyplývá i název jejich masky rybího tvaru „RespiRator“.

Zdravotnické obličejové masky mají obvykle tvar obdélníku se třemi záhyby vodorovně uprostřed výrobku, takzvaný „skládací“ tvar. Tyto záhyby po nasazení masky na obličej kopírují obličejový oblouk a rozevírají se dle potřeby (viz obr. 2). Ochranné prostředky dýchacích cest označené jako ZP jsou zřídka tvarované podobně jako pomůcky OOP, viz obr. 9 dětského produktu značky Promedor 24.



Obrázek 8 - Filtrační polomaska „fish-type“. Zdroj: www.respilon.com

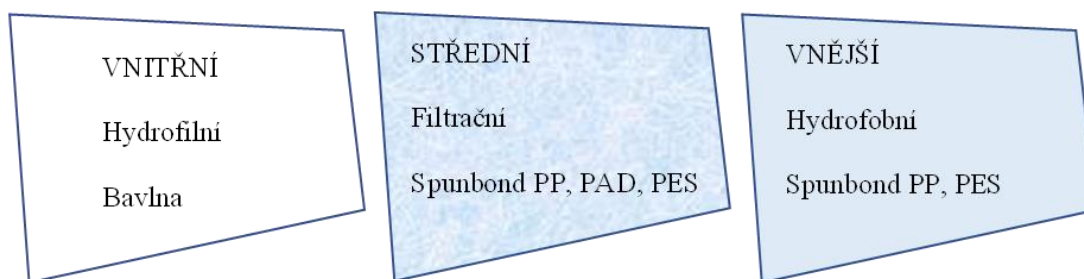


Obrázek 9 - Dětská obličejová maska pro veřejnost. Zdroj: www.promedor24.com

Vrstvení ochranných pomůcek dýchacích cest není předepsaným požadavkem žádné normy, avšak z průzkumu trhu vyplývá, že počet vrstev je odlišný dle specifikace výrobku, použitého materiálu pro výrobu, způsobu výroby apod. Podle výše rozdělených skupin výrobku lze určit následující počet materiálových vrstev:

- Nezdravotnické látkové masky – 1 až 3 vrstvy
- ZP - 1 až 4
- OOP – 3 až 7

Třívrstvá struktura je ve většině výrobků všech skupin obličejových masek. Dle druhého vydání směrnice WHO ze 7. března 2022 (9), nezdravotnické látkové masky by v ideálním případě měly také mít třívrstvou strukturu, přičemž každá vrstva má poskytovat určitou funkci: vnitřní vrstva z hydrofilního bavlněného materiálu, který nedráždí pokožku a pohlcuje vlhkost; střední - hydrofobní netkaná textilie (spunbond polypropylen, polyester a polyamid), která může zlepšit filtraci, zabránit pronikání kapek nebo zadržet je; a vnější vrstva z hydrofobního materiálu (spunbond polypropylen, polyester nebo jejich směsi), která může omezit pronikání vnější kontaminace vrstvami (viz obr. 10).



Obrázek 10 – Doporučené vrstvy pro nezdravotnické látkové masky (9)

2.2 Testování obličejových masek dle platných norem

2.2.1 Certifikace OOP

Všechny výrobky označené výrobcem jako OOP jsou testované dle výše popsané normy ČSN EN 149+A1. Důležitými požadavky jsou filtrační účinnost a dýchací odpor. Maximální hodnoty průniku zkušebního aerosolu filtračním materiálem a celkového průniku, určující filtrační účinnost polomasky, a hodnoty dýchacího odporu řadí výrobek do určité třídy (viz tab. 1).

Tabulka 2- Průnik filtračním materiálem a dýchací odpor (4)

MAXIMÁLNÍ PRŮNIK materiálem/celkový [%]		TŘÍDA	MAXIMÁLNÍ ODPOR [mbar]		
Chlorid sodný 95 l/m	Parafinový olej 95 l/m		Vdechovací		vydechovací
			30 l/min	95 l/min	160 l/min
20/22	20/22	FFP1	0,6	2,1	3,0
6/8	6/8	FFP2	0,7	2,4	3,0
1/2	1/2	FFP3	1,0	3,0	3,0

Zkouška dýchacího odporu filtrační polomasky bez ventilu předepisuje použití celkem devíti vzorků: tři ve stavu, v jakém byly dodány, tři po tepelném kondicionování a tři po kondicionování napodobením užívání.

Pro tepelné kondicionování musí být výrobky vystaveny suchému ovzduší nejdříve při vysoké teplotě (70 ± 3) °C během 24 hodin, dalších 24 hodin při nízké teplotě (-30 ± 3) °C, přičemž mezi těmito cykly a po jejich ukončení se teplota vzorku vyrovnává na teplotu místnosti po dobu minimálně 4 hodiny.

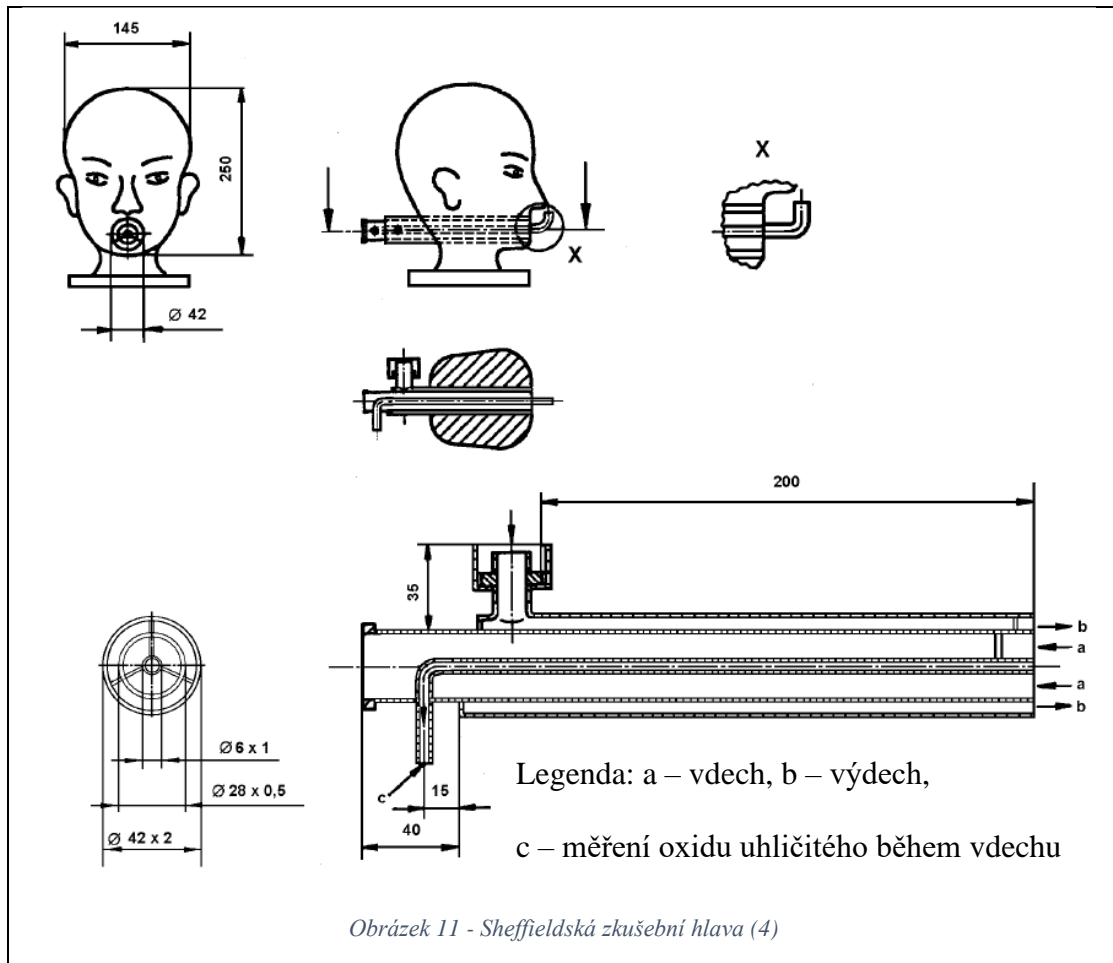
Napodobení užívání je prováděno dle normou určených následujících podmínek:

- Umělé plíce - 25 zdvihů/min při objemu 2,0 l/zdvih
- Filtrační polomaska připevněná na Sheffieldskou zkušební hlavu
- Zvlhčovač ve vdechovací větvi mezi plícemi a hlavou – nad 37 °C
- Nasycení vzduchu v ústí hlavy při (37 ± 2) °C

Plíce se uvedou do chodu, zvlhčovač se zapne a zařízení se uvede do ustáleného stavu.

Během zkušební doby se musí filtrační polomaska v asi dvaceti minutových intervalech sejmout a znovu nasadit tak, aby v průběhu celé zkoušky byla nasazena na zkušební hlavu desetkrát.

Vdechovací odpor se zkouší při plynulém průtoku vzduchu 30 l/min (dýchání v klidu) a 95 l/min (dýchání při pohybu a stresu). Vydechovací odpor je měřen v ústním otvoru hlavy pomocí adaptéru (viz obr. 11) a umělých plic nebo při plynulém průtoku 160 l/min.



Pro stanovení filtrační účinnosti polomasky se podrobí zkoušce průniku dle normy ČSN EN 13274-7, přičemž všechny součásti produktu, které mohou mít vliv na průnik, se vystaví zkušební koncentraci aerosolu. Každým aerosolem musí být zkoušeno celkem 9 filtračních polomasek proti částicím: tři ve stavu, v jakém byly dodány, tři po tepelném kondicionování a tři po kondicionování napodobením užívání. (4)

2.2.2 Certifikace ZP

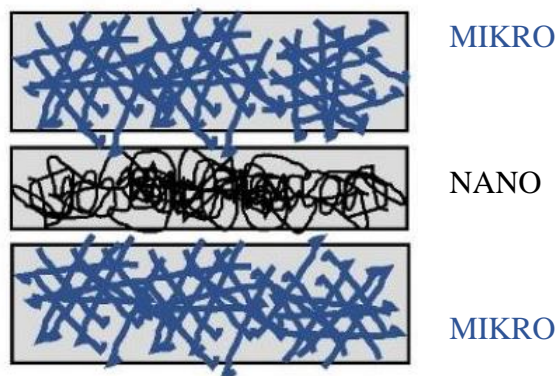
Všechny výrobky označené výrobcem jako ZP jsou testované dle výše popsané normy ČSN EN 14683+AC. Lékařské obličejové masky jsou určeny především k omezení přenosu infekčních agens z personálu na pacienty. Norma rozeznává tři třídy těchto prostředků dle bakteriální filtrační účinnosti BFE: třídy I a II jsou určeny dle účinnosti bakteriální filtrace, označení R u II typu masky označuje odolnost vůči stříkací vodě, což znamená určitou ochranu samotného uživatele. Požadavky pro lékařské obličejové masky jsou uvedené v tab. 2. (5)

Tabulka 3 - Požadavky pro zdravotnické obličejové masky (5)

TEST	I	II	IIR
BFE [%]	≥ 95	≥ 98	≥ 98
Diferenciální tlak [Pa/cm ²]	< 40	< 40	< 60
Odolnost vůči tlaku rozstříku [kPa]	-	-	≥ 16
Mikrobiální čistota [cfu/g]	≤ 30	≤ 30	≤ 30

3. Textilie používané pro výrobu obličejových masek

Z průzkumu trhu obličejových masek vyplývá, že tak zvané nezdravotnické látkové masky vyráběné během období deficitu jsou vytěsňené masovou výrobou normovaných OOP a ZP. Vedle stálých výrobců, vlivem nedostatku tohoto zboží po vypuknutí pandemie Covid-19, nastoupilo na trh mnoho nových výrobců obličejových masek, které jsou třívrstvé z netkaných mikro a nano porézních membrán (viz obr. 12). (10)



Obrázek 12 - Schéma typických 3 vrstev v OOP a ZP (10)

3.1 Netkané textilie

Netkaná textilie (NT) je plošná textilie vyrobená z jednosměrně nebo náhodně orientovaných vláken, spojených třením, kohezí nebo adhezí jednotlivých částic textilie.

NT využívané pro výrobu obličejových masek jsou vyráběné z hydrofobních syntetických polymerů, nejčastěji polypropylenu (PP) a polyvinilidenfluoridu (PVDF). Dále se také používá polystyren (PS), polykarbonát (PC), polyetylen (PE) nebo polyester (PES). (10)

Polypropylen se vyznačuje vysokou pevností, pružností a prodyšností, má nízkou hmotnost, minimální navlhavost, je antibakteriální a nevyvolává alergické reakce.

Polyvinylidenfluorid má vynikající odolnost vůči oděru, UV záření a vůči únavě při cyklickém zatěžování, je pružný, netoxický a odolný vůči bakteriím a plísním. Díky svým specifickým filtračním vlastnostem se často používá pro výrobu nanofiltrů (střední vrstvy obličejové masky).

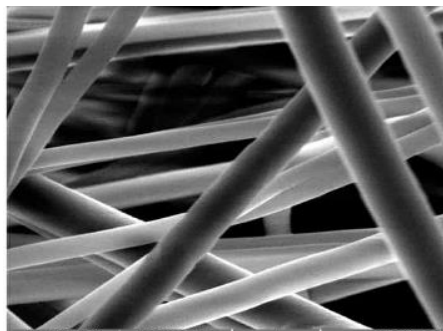
3.1.1 Metody výroby netkaných textilií

Vlastnosti netkané textilie závisí na způsobu výroby, zejména na velikosti průměru použitých vláken.

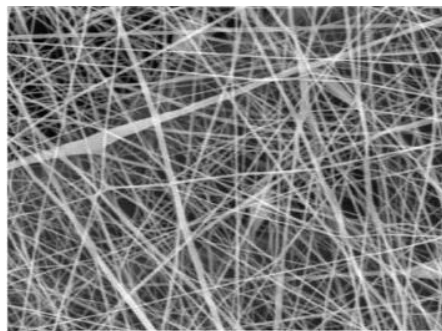
Výroba NT metodou Spunbond spočívá ve zvlákňování taveniny přes třísku a rozkládání hotových hedvábných nití na dopravník. Čerpadla ženou taveninu zvlákňovací tryskou s velkým počtem otvorů, proud vzduchu je kontinuálně přiváděn kolmo k vláknům. Svazky vláken jsou pneumaticky ukládány na pohybující se pás. Následuje proces spojení vláken pro zpevnění netkané vrstvy textilie. Konvenční textilie Spunbond obsahují hrubší vlákna a mají mnohem větší pevnost v tahu a menší tlakový spád než NT vyrobené metodou Meltblown.

Metoda Meltblown je proces vyfukování vláken proudem vzduchu z taveniny. Tímto způsobem výroby lze získat velmi jemná vlákna o průměru 1-10 mikronu (viz obr. 13). Mikron je tisíckrát menší než milimetr a tisíckrát větší než nanometr. Vlákna jsou vyfukována v horizontální dráze a horký vzduch se sbíhá s proudem vláken, což napomáhá dlužení a tím i zjemnění vláken. Směr proudu vzduchu je tak klíčovou odlišností od metody Spunbond, kde je proud vzduchu v příčném směru k vystupujícímu vláknům. Výsledná textilie je pak díky dlužení proudem horkého vzduchu měkčí, objemnější, má menší plošnou hmotnost, menší velikost pórů a zajišťuje tak lepší filtrační účinnost. (11)

Pro mnohem jemnější nanomembrány (viz obr. 14) je používána metoda elektrostatického zvlákňování. Tento proces výroby NT spočívá ve vytváření ultrajemných vláken z polymerního roztoku mezi dvěma elektrodami, s dostatečným rozdílem elektrických potenciálů. Působením elektrického pole mezi elektrodami na hrotu zvlákňující elektrody (kovové třísky) vzniká Taylorův kužel. Paprsek polymerního roztoku je dále dlužen a formován do vláken, které se ukládají ve tvaru pavučiny na připraveném podkladu nad druhou elektrodou. (12)



Obrázek 13 - NT Meltblown (12)



Obrázek 14 - Nanovláknenná membrána (12)

3.2 Vlastnosti normalizovaných obličejových masek

Vlastnosti hotových výrobků jsou závislé na vlastnostech použitých textilií a vlastnosti textilie závisí na způsobu jejich výroby a vlastnostech použitých vláken. NT používané pro výrobu obličejových masek mohou tudíž mít velmi rozdílnou plošnou hmotnost, hustotu, pevnost, propustnost a další důležité vlastnosti.

Vlastnosti výrobku by měly být takové, aby splňovaly účel použití. Hlavním účelem obličejových masek je chránit uživatele a jeho okolí, zabránit nebo maximálně omezit působení škodlivin, pronikání mikrobu, bakterií a virů, a zároveň splnit zásady pro uchování zdraví a optimální komfort.

3.2.1 Filtrační účinnost vs prodyšnost

Zdravotnické obličejové masky musí dle normy EN 14683+AC zachytit podle typu (I, II, IIR) 95 až 98 % kapénkových částic velikosti 3 μm (viz tab.3). Norma EN 149+A1 pro OOP počítá se zachycením 80 až 99 % částic aerosolu o velikosti 0,6 μm , dle typu FFP1, FFP2 a FFP3 (viz tab.3).

Výrobce a prodejce masek s označením nano uvádí v popisu svých produktů většinou vyšší filtrační schopnost, někteří dokonce díky přísadám stříbra nebo mědi uvádí, že maska nejen zachytí až 99,9 % částic, ale i deaktivuje viry. Dle nezávislých testů MDF (13), filtrační účinnost zkoušených vzorků zdravotnických a ochranných masek s nano filtrační membránou skutečně prokázala 100% zachycení kapénkových částic u 11 z 15 zkoušených produktů (viz tab. 4). Filtrace aerosolových částic, i když odpovídala deklarované třídě, většinou ukázala menší hodnotu a jen ve třech případech dokonce větší naměřenou hodnotu účinnosti. Souvislost mezi dvěma nejdůležitějšími vlastnostmi obličejových masek se ukazuje jako velmi závislá – při příliš vysoké filtrační schopnosti

se pochopitelně snižuje prodyšnost. Důležité je najít ideální poměr mezi účinností a prodyšností.

Tabulka 4 - Výsledky testu nanovlákněných masek (13)

PRODUKT	Uvedena filtrační účinnost [%] / třída	Výsledky nezávislých testů			
		Filtrace částic 3 μm [%]	Filtrace částic 0,6 μm [%]	Filtrace částic <0,2 μm [%]	Prodyšnost
Spurtext V100	98,5 / FFP2	100	99,7	92,5	nízká
RespiPro Carbon	FFP2		99,7	92,4	nízká
Nanolab respirátor	99,9 / FFP2		98,7	79,4	dostatečná
BreaSafe Anticovid-19	94 / FFP2		98,4	87,2	dostatečná
Prémiová nanomaska	99		98,2	79,8	dobrá
Spurtext VS Premium	FFP2		97,9	76,5	nízká
RespiPro White	99,9 / FFP2		96,3	78,6	dostatečná
VK RespiPro	99,7-99,9		96,1	78,6	dostatečná
Nanorouška s úvazky	98 BFE		88,9	65,3	dostatečná
Silver Mask	-		82,7	57	dobrá
CUBO nanoroušky	>FFP3		87,9	53,2	velmi nízká

Dále výrobce nanoproduktů uvádí zpravidla delší dobu použití. Ředitel asociace nanoprůmyslu Kůs vysvětluje pro MDF (13), že kdyby se roušky a respirátory testovaly po dvou a více hodinách užívání, filtrační schopnost by se u nich vlivem vlhkého dechu podstatně snížila. Filtrační záchyt nanovlákněných roušek a respirátorů se naproti tomu výrazně nesnižuje, proto mohou být tyto produkty používány déle.

Pro splnění požadavku prodyšnosti u obou normovaných produktů je měřen tlakový spád – odpor proti dýchání. ZP musí klást maximální odpor 40 až 60 Pa dle tříd a OOP od 60 do 300 Pa (viz tab. 2 str.18 a tab. 3 str. 20).

4. Experiment pro hodnocení vybraných užitečných vlastností ochranných obličejových masek

Cílem experimentální části bylo zhodnotit vliv teploty a vlhkosti na vybrané vlastnosti ochranných obličejových masek. V rešeršní části bylo zjištěno, že mezi dvěma klíčovými vlastnostmi obličejových masek je velmi závislá souvislost – při zvýšení filtrační schopnosti se snižuje prodyšnost. Výrobce a prodejce tohoto produktu se snaží neustále zvyšovat filtrační schopnosti až do 99,9 % a také na svých produktech uvádí delší dobu použití (až týden).

Experimentální část této práce byla zaměřena na stanovení:

- prodyšnosti textilních vrstev
- prodýchatelnosti masek
- propustnosti vodních par přes textilie

a zhodnocení vlivu teploty a vlhkosti (simulace nošení) na tyto vlastnosti textilních vrstev, které byly použity pro výrobu vybraných obličejových masek.

4.1 Charakteristika masek použitých pro experiment

Pro experiment byly zvoleny 14 druhů obličejových masek volně dostupných na českém trhu v druhé polovině roku 2022. Produkty označené pořadovým číslem jsou seřazené do tabulky 5 následně: 1 až 6 jsou obličejové masky označené výrobcem jako ZP – zdravotnické obličejové masky, 7 až 13 jako OOP – ochranné polomasky a poslední produkt číslo 14 je označen výrobcem jako OOP a ZP současně – respirátor. Tabulka dále uvádí pouze informace uvedené výrobcem na obalu výrobků nebo na webových stránkách výrobce či prodejce.

Tabulka 5 - Obličejové masky použité pro experiment

	Výrobce	Norma / Typ	Filtrace [%]	Tvar	Vrstvení
1	Opharm	EN 14683+AC/IIR	BFE \geq 98	skládací	3
2	Steriwind	EN 14683+AC/-	-		
3	Steriwind (dětská)	EN14683+AC/	-		
4	Good Mask	EN 14683+AC/-	-		
5	Balerina	EN 14683+AC/IIR	BFE \geq 99		
6	Safety Nano Protect		BFE \geq 99		
7	Promedor24	EN 149+A1/FFP2	PFE $>$ 95	3D	5
8	Famica		PFE \geq 95		5
9	Royax		-		3
10	JW		-		4
11	Mondo Medical		PFE \geq 95		5
12	CFU-Mask		-		5
13	BreaSAFE		PFE \geq 94		3
14	Balerina		EN 149+A1/FFP2		PFE \geq 94
		EN 14683+AC/IIR	BFE \geq 99		

Všechny ZP jsou třívrstvé, 5 z nich jsou tvarované do obdélníku se záhyby – tak zvaný „skládací“ tvar a jedna maska má tvar typu „3D“. V této skupině produktů jsou dvě masky označené výrobcem jako „nanomaska“. V průběhu experimentu byla sledována odlišnost klíčových vlastností těchto masek a porovnáván vliv teploty a vlhkosti na vybrané vlastnosti ZP s různými typy filtrační vrstvy.

Sedm následujících masek (7 až 13) jsou označené výrobcem jako OOP typu FFP2. Uváděná filtrační účinnost PFE je více než 95 %, přičemž počet vrstev těchto filtračních polomasek je odlišný, a to od třech do pěti vrstev. Polomaska s pořadovým číslem 13 je třívrstvá, přičemž její prostřední vrstva je vyrobená z nanovláknenné membrány. Výrobce dále uvádí, že u použité membrány byla potvrzena vyjimečná výše BFE a VFE laboratorními testy Nelson Laboratoriem USA (\geq 99,9 %). Nicméně výrobek číslo 13 je certifikován pouze jako OOP, dle normy EN 149:2001 + A1:2009.

Poslední produkt testovaný v tomto experimentu s pořadovým číslem 14 definujeme jako respirátor, je označen výrobcem jako OOP a zároveň jako ZP. Respirátor má 3D tvar a skládá se z pěti vrstev, přičemž je použita nano membrána.

4.2 Charakteristika použitých zařízení

Pro splnění cílů této práce byla pro simulaci užívání použita klimatizovaná komora a stanovené hodnoty vybraných vlastností textilních vrstev použitých pro výrobu obličejových masek:

- Plošná hmotnost
- Tloušťka
- Prodyšnost
- Prodýchatelnost
- Propustnost vodních par

4.2.1 Stanovení plošné hmotnosti textilních vrstev použitých pro výrobu ochranných obličejových masek

Pro stanovení plošné hmotnosti použitých textilních vrstev pro výrobu jednotlivých obličejových masek byly vzorky připraveny následujícím způsobem:

- odstraněním elastických úchytek
- odstraněním pevných spojů skládacích masek na krátkých stranách obdélníku
- odstraněním pevného spoje uprostřed masek typu 3D
- odstraněním nosní výztuhy
- vystřížením vzorků o průměru $D = 8$ cm (5 vzorků pro každou masku)

Plocha S použitých vzorků pro měření byla přepočítaná dle příslušného vzorce:

$$S = 0,25\pi D^2,$$

plocha použitých vzorků pro vážení byla stanovena na $50,264$ cm².

Vzorky byly zváženy na laboratorní váze HOKA (viz obr. 15). Obrázek 16 znázorňuje část připravených vzorků.



Obrázek 15 - Laboratorní váha HOKA



Obrázek 16 - Vzorky pro experiment

4.2.2 Stanovení tloušťky textilních vrstev použitých pro výrobu ochranných obličejových masek

Tloušťka všech vrstev použitých pro jednotlivé obličejové masky je pro tento experiment definovaná jako hodnota kolmé vzdálenosti mezi lícem a rubem masky.

Pro měření tloušťky byly použity stejné vzorky jako pro stanovení plošné hmotnosti v počtu 5 vzorků z každého produktu. Měření bylo prováděno na tloušťkoměru SDL M 034A v laboratoři katedry oděvnictví TUL (viz obr. 17).



Obrázek 17 - Tloušťkoměr SDL M 034A

Na daném přístroji byla tloušťka měřena jako kolmá vzdálenost mezi základní deskou, na které byly umístěovány vzorky, a paralelním přítlačným kotoučem, který vyvíjel přítlak 1000 Pa na měřenou plochu vzorku 20 cm². Měření bylo řízeno pomocí počítačového softwaru a hodnoty byly zapsány do tabulky.

4.2.3 Simulace užívání – působení teploty a vlhkosti

Pro simulaci užívání obličejových masek (působení teploty a vlhkosti) byla pro tento experiment použita klimatizovaná komora (viz obr. 18) s následujícím nastavením hodnot:

- Teplota – 37 °C
- Vlhkost vzduchu – 95 %

Měření prodyšnosti a prodýchatelnosti bylo postupně prováděno následně:

- 1) měření hodnot před použitím klimatizované komory
- 2) měření po jedné hodině působení teploty a vlhkosti na vzorky v komoře
- 3) po čtyřech hodinách působení
- 4) po 24 hodinách působení

Po přípravě vzorku a před prvním měřením byly vzorky aklimatizované v laboratorních podmínkách při teplotě vzduchu 22,6 °C a relativní vlhkosti vzduchu 39,3 % během 24 hodin. Po druhém a třetím měření, pro které byly vzorky umísťovány do klimatizované komory, probíhala rovněž aklimatizace vzorků za stejných laboratorních podmínek minimálně 24 hod.



Obrázek 18 - Působení teploty a vlhkosti na vzorky v klimatizované komoře

4.2.4 Stanovení prodyšnosti textilních vrstev použitých pro výrobu ochranných obličejových masek

Zjišťování prodyšnosti plošných textilií je řízeno normou ČSN EN ISO 9237. Prodyšnost, dle této normy, je definovaná jako rychlost proudu vzduchu procházejícího

kolmo na zkušební vzorek při specifikovaných podmínkách pro zkušební plochu, tlakový spád a dobu. (14)

Pro testování prodyšnosti byly použity stejné vzorky (viz podkap. 4.2.1)

Pro tento experiment byl použit SDL M 021 S přístroj na měření prodyšnosti plošných textilií se čtyřmi průtokoměry (viz obr. 19). Vzorky byly postupně umísťovány na kruhový držák a utěsněny upevňujícím zařízením. Hodnoty byly odečítány z průtokoměru číslo 4, který má škálu průtoku vzduchu q_v v rozmezí 40–400 ml/s.

Podmínky měření:

- počet měření – 5
- zkušební plocha – 20 cm²
- tlakový spád – 100 Pa



Obrázek 19 – SDL M 021 S – přístroj pro měření prodyšnosti textilií

4.2.5 Stanovení prodýchatelnosti textilních vrstev použitých pro výrobu ochranných obličejových masek

Stanovení prodýchatelnosti obličejových masek je řízeno normou EN 1483+AC:2020 pro zdravotnické obličejové masky. Dle definice této normy, prodýchatelnost je diferenciální tlaková propustnost vzduchu masky měřená stanovením rozdílu tlaků v masce. (5)

Testování bylo provedeno na celé skupině obličejových masek vybraných pro tento experiment. Vzorky byly připraveny následně:

- odstraněním elastických úchytek
- odstraněním pevných spojů skládacích masek na krátkých stranách obdélníku
- odstraněním pevného spoje uprostřed masek typu 3D

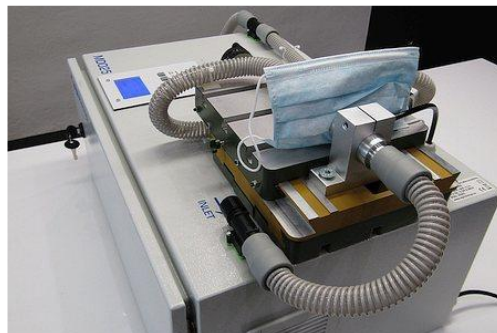
Takto bylo připraveno 5 vzorků od každého produktu. Vzorky byly následně označeny příslušným číslem a označením zkoušecí plochy o průměru 25 mm tak, aby každé měření před a po použití klimatizované komory bylo prováděno na stejném místě textilních vrstev (viz. obr 20).

Zkoušky se prováděly ve směru proudění vzduchu z vnitřní strany vzorku na vnější stranu pomocí zařízení MDO 25 pro měření prodýchatelnosti ZP (viz obr. 21).

Před každým testem sady vzorků byl vynulován diferenciální manometr, spuštěno čerpadlo a průtok vzduchu nastaven na 8 l/min.



Obrázek 20 - Vzorky pro měření prodýchatelnosti masek



Obrázek 21 - MDO-25 - přístroj pro měření prodýchatelnosti masek

4.2.6 Stanovení propustnosti vodních par přes textilní vrstvy použité pro výrobu ochranných obličejových masek

Propustnost vodních par pro tento experiment byla stanovena pomocí miskové metody přímé, která se řídí japonskou normou JIS L 1099 a je definovaná dle této normy jako hmotnost vodní páry v gramech, která pronikla textilií při stanovené teplotě a za stanovené vlhkosti. Propustnost vodních par se následně vypočítá dle vzorce:

$$P = \frac{a_3 - a_4}{S}, \text{ kde}$$

P – propustnost vodních par [$g / m^2 \cdot h$]

$(a_3 - a_4)$ – změna hmotnosti zkušební sestavy za hodinu [g / h]

S – zkušební plocha prostupu [m^2]. (15)

Pro stanovení propustnosti vodních par byly připraveny tři vzorky od každé masky o průměru 9 cm, dle šablony. Měření bylo prováděno v laboratoři KOD TUL na přístroji FX3180 CupMaster (viz obr. 22). Pro tento experiment byly nastaveny následné parametry hodnot:

- Teplota vzduchu - 37°C
- Relativní vlhkost - 50%
- Rychlost proudění vzduchu – 0,8 m/s

Doba měření je dle normy stanovena na 24 hodin. Pro tento experiment byly odečítány výsledky hodnot propustnosti vodních par po jedné hodině, po čtyřech hodinách a po 24 hodinách měření tak, aby bylo možné stanovit vliv teploty a vlhkosti na propustnost vodních par ve stanovených intervalech, které byly sledovány i v předchozích testech.



Obrázek 22 - Textest FX 3180 CupMaster – zařízení pro měření propustnosti vodních par

Vzorky po 12 kusech byly umístěny do přístroje dle pokynu normy JIS L 1099 a po dosažení nastavených hodnot teploty a vlhkosti začal automatický proces měření.

Přístroj FX 3180 CupMaster – vybavení:

- Termohygrostat, schopný udržovat teplotu a vlhkost na zadané hodnotě a cirkulovat vzduch uvnitř přístroje
 - Indikátor rychlosti vzduchu, schopný měřit rychlost uvnitř termohygrostatu s přesností 0,1 m/s
 - Laboratorní váha, schopná určit hmotnost zkušební sestavy s přesností na 1 mg
 - 12 misek vyrobených z materiálu neumožňujícího pronikání vodních par, nepodléhajícího korozi a deformaci propustné plochy během zkušebního postupu.
- (15)

Výsledky zkoušky byly vyjádřeny střední hodnotou tří zkušebních vzorků.

4.3 Vyhodnocení naměřených dat

4.3.1 Vyhodnocení plošné hmotnosti textilních vrstev použitých pro výrobu obličejových masek

Vybrané testované produkty s pořadovými čísly 1 až 14 byly pro přehlednost odlišeny barevnými odstíny tímto způsobem:

- 1 až 4. ZP – zdravotnické prostředky (světle šedá)
- 5 a 6. ZP s použitím nano textilních vrstev (tmavě šedá)
- 7 až 12: OOP – osobní ochranné prostředky (světle žlutá)
- 13 a 14. OOP s použitím nano textilních vrstev (tmavě žlutá)

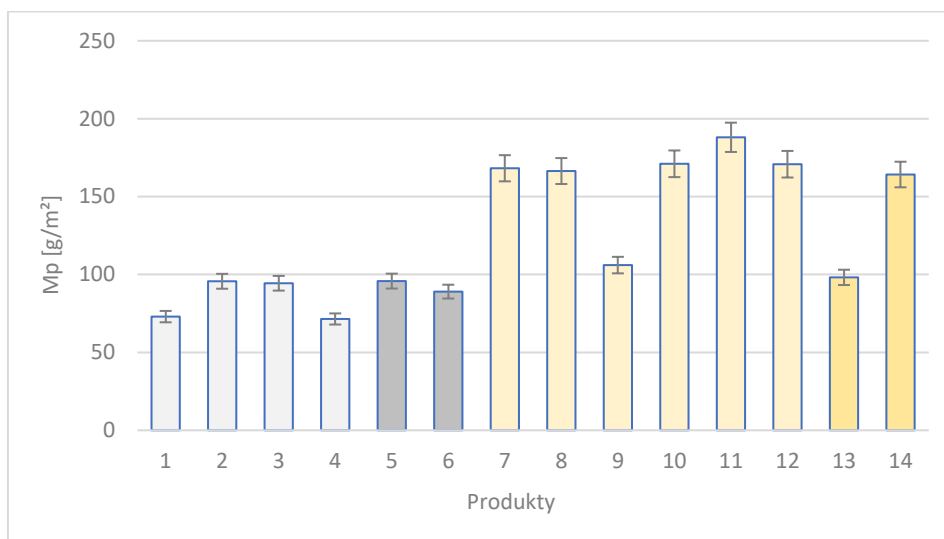
Střední hodnoty plošné hmotnosti textilních vrstev a statistická analýza dat jsou seřazeny v tabulce 6 dle výše stanoveného pravidla.

Tabulka 6 - Hodnoty plošné hmotnosti textilních vrstev použitých pro výrobu masek

Produkt	Mp [g/m ²]	S. odchylka	IS 95%	ν_x [%]	
ZP	1	72,97469	0,007222	± 0,00633	1,968972
	2	95,65494	0,010553	± 0,00925	2,194826
	3	94,38166	0,009351	± 0,008196	1,971108
	4	71,46268	0,005636	± 0,00494	1,568931
	5	95,77431	0,015513	± 0,013597	3,222388
	6	89,01003	0,002653	± 0,002326	0,593049
OOP	7	168,1919	0,010892	± 0,009547	1,288408
	8	166,4014	0,007419	± 0,006503	0,887003
	9	106,0401	0,0109	± 0,009554	2,044942
	10	171,0568	0,014288	± 0,012524	1,661835
	11	188,0471	0,081786	± 0,071687	8,652779
	12	170,7783	0,006053	± 0,005306	0,705161
	13	98,16171	0,010632	± 0,009319	2,154849
	14	164,1732	0,01574	± 0,013797	1,907464

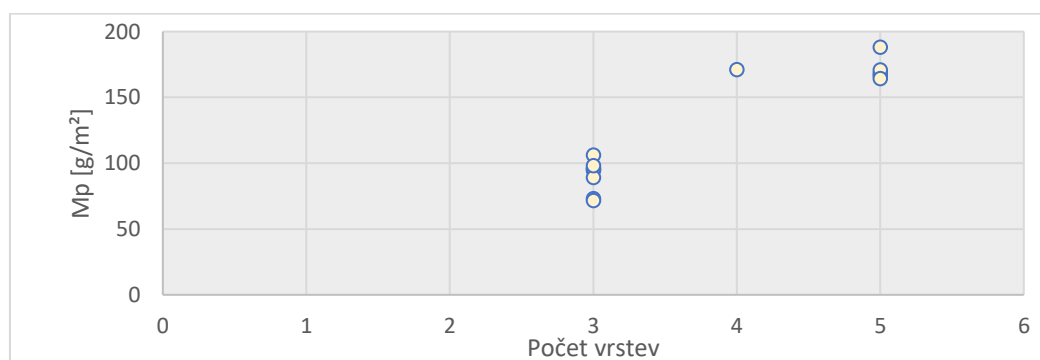
Třívrstvé vzorky vykazují hodnoty plošné hmotnosti v rozmezí 71,463 – 106,040 g/m², přičemž nejnižší plošnou hmotnost vykazuje vzorek číslo 4 ze skupiny produktů ZP a

nejvyšší plošnou hmotnost má produkt číslo 9 ze skupiny OOP. Pro porovnání hodnot plošné hmotnosti byl následně vygenerován sloupcový graf (viz obr. 23).



Obrázek 23- Graf porovnání plošné hmotnosti všech vrstev jednotlivých produktů

Vliv použití nanomembrán neprokázal závislost na plošné hmotnosti vybraných vzorků. Například vzorky 5 a 6 s použitím nano textilií mají srovnatelnou jemnost se vzorky 2 a 3 ze stejné skupiny ZP a stejným vrstvením. Ve skupině OOP jsou srovnatelné hodnoty vzorků 13 a 9 se stejným vrstvením při odlišném způsobu výroby použitých NT, stejně tak pětivrstvý vzorek číslo 14 obsahující nano vrstvy má srovnatelnou plošnou hmotnost s ostatními pětivrstvémi vzorky. Vzhledem k této úvaze byl vygenerován graf závislosti plošné hmotnosti použitých vrstev pro výrobek na počtu vrstev ve vzorku (viz obr. 24).



Obrázek 24 - Graf rozdělení plošné hmotnosti dle počtu vrstev vzorků

Plošná hmotnost všech třívrstvých obličejových masek z obou skupin výrobků se projevuje jako jeden shluk bodů s hodnotami 71,5-106 g/m² a všech pětivrstvých výrobků jako druhý shluk bodů s hodnotami 164-188 g/m². Jediná maska číslo 10, vyrobená

ze čtyř textilních vrstev, vybočuje z těchto dvou shluků bodů a řadí se svou jemností mezi pětivrstvé OOP s plošnou hmotností 171 g/m². Vzhledem k vybočení čtyřvrstvé masky nelze prokázat lineární závislost plošné hmotnosti na počtu vrstev.

4.3.2 Vyhodnocení tloušťky vzorků

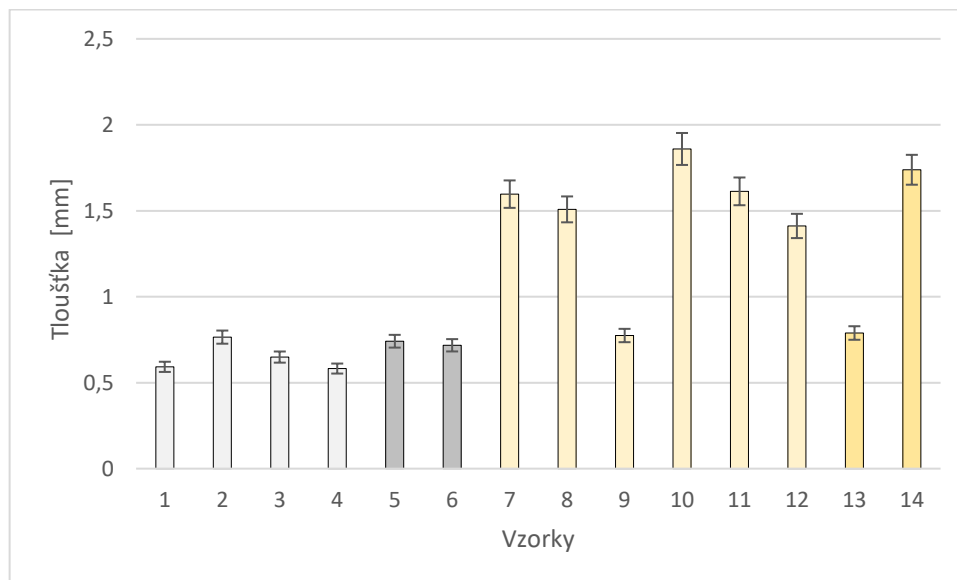
Parametry tloušťky textilních vrstev použitých pro výrobu obličejových masek se pohybují přibližně v rozmezí od 0,5 do 2 mm. Přičemž ve skupině produktů zkoumaných v tomto experimentu nejvyšší tloušťku textilních vrstev má vzorek číslo 10 (čtyřvrstvá OOP). Střední hodnoty tloušťky textilních vrstev a základní statistickou analýzu dat uvádí tabulka 7.

Tabulka 7 - Hodnoty tloušťky vzorků

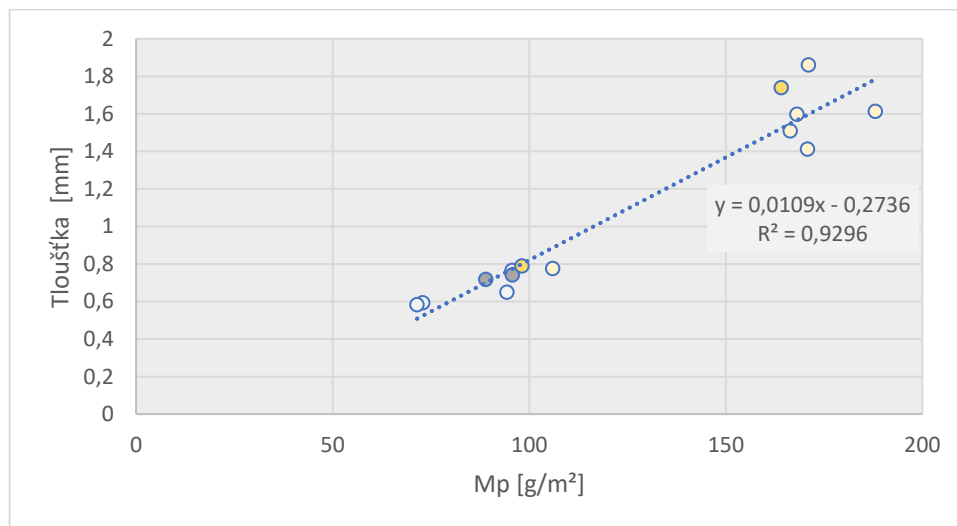
Produkt	Tloušťka [mm]	S. odchylka	IS 95%	v_x [%]	
ZP	1	0,5922	0,005381	± 0,004717	0,908722
	2	0,765	0,006033	± 0,005288	0,788659
	3	0,649	0,00743	± 0,006512	1,144787
	4	0,5822	0,0056	± 0,004909	0,961869
	5	0,7412	0,00172	± 0,001508	0,232119
	6	0,7176	0,003611	± 0,003165	0,503218
OOP	7	1,5968	0,01525	± 0,013367	0,95503
	8	1,5082	0,046396	± 0,040667	3,076229
	9	0,7744	0,012241	± 0,010729	1,580697
	10	1,8596	0,05143	± 0,04508	2,765646
	11	1,613	0,031222	± 0,027367	1,935635
	12	1,4118	0,013075	± 0,011461	0,926135
	13	0,789	0,002	± 0,001753	0,253485
	14	1,7386	0,002059	± 0,001805	0,118436

Grafické vyhodnocení středních hodnot tloušťky znázorňuje skupinový sloupcový graf (viz obr. 25). Jako nejtenčí se projevuje vzorek 4 ze skupiny třívrstevých ZP, který prokázal také nejnižší plošnou hmotnost v předchozím měření. Nejvyšší hodnotu tloušťky má čtyřvrstvý vzorek produktu číslo 10 ze skupiny OOP, přičemž nejvyšší plošnou hmotnost v předchozím měření prokázal pětivrstvý vzorek číslo 11. Vzhledem

k této úvaze byl vygenerován graf závislosti tloušťky vrstev na jejich plošné hmotnosti (viz obr. 26).



Obrázek 25 – Graf porovnání tloušťky vzorků



Obrázek 26 - Graf závislosti tloušťky na plošné hmotnosti vrstev NT

Graf závislosti prokázal lineární závislost tloušťky vzorků [mm] na plošné hmotnosti vrstev M_p [g/m²] se spolehlivostí $R^2 = 0,9296$, koeficient determinace se velmi blíží 1. OOP s číslem 9 a 13 jsou jediné třívrstvé OOP ze skupiny polomasek a na grafu se objevují ve shluku bodu všech třívrstvých ZP. Nevybočují ani hodnoty tlouštěk a plošné hmotnosti masek s nano vrstvami – nano masky mají srovnatelné hodnoty těchto

parametrů s ostatními produkty ve své skupině. Pro skupinu testovaných produktů se ukázalo, že tloušťka a plošná hmotnost textilních vrstev závisí na počtu vrstev, a nikoliv na složení nebo technologii vyhotovení jednotlivých netkaných textilií.

4.3.3 Vyhodnocení prodyšnosti a vlivu užívání masek na prodyšnost textilních vrstev

Hodnoty průtoku vzduchu q_v byly přepočítány na l/min a následně byl vypočítán aritmetický průměr [l/min], variační koeficient [%] a interval spolehlivosti na hladině $\alpha = 0,05$ (viz tab. 8). Cílem experimentální části mimo stanovení hodnot prodyšnosti, prodýchatelnosti a propustnosti vodních par přes textilní vrstvy bylo vyhodnotit vliv teploty a vlhkosti na tyto vlastnosti. Měření stejných vzorků pro stanovení prodyšnosti a prodýchatelnosti bylo proto prováděno čtyřikrát následně:

- Test 1 – stanovení hodnot prodyšnosti a prodýchatelnosti před simulací užívání
- Test 2 – stanovení prodyšnosti a prodýchatelnosti po 1 hodině simulace užívání
- Test 3 – po 4 hodinách simulace užívání
- Test 4 – po 24 hodinách vlivu teploty a vlhkosti (simulace užívání)

Tabulka 8 - Průtok vzduchu q_v [l/min]

	Test 1			Test 2			Test 3			Test 4		
	\bar{x}	IS	v_x	\bar{x}	IS	v_x	\bar{x}	IS	v_x	\bar{x}	IS	v_x
1	9,48	± 0,32	3,7975	9,78	± 0,32	3,6810	10,14	± 0,11	1,1834	10,56	± 0,20	2,1259
2	13,32	± 0,40	3,3709	14,88	± 1,95	14,958	14,1	± 0,80	6,4535	14,64	± 2,00	15,574
3	18,84	± 0,71	4,3200	19,38	± 0,74	4,3344	19,5	± 0,94	5,5042	19,74	± 0,71	4,1230
4	14,28	± 0,52	4,1168	13,68	± 0,32	2,6316	15,25	± 0,51	3,8254	15,3	± 0,53	3,9216
5	11,52	± 0,77	7,654	11,52	± 0,77	7,6547	12,18	± 0,74	6,8966	12,48	± 0,74	6,7308
6	11,16	± 0,26	2,6339	11,28	± 0,52	5,2117	11,76	± 0,20	1,9090	12	± 0,29	2,7387
7	6,24	± 0,20	3,5978	6,3	± 0,29	5,2164	6,6	± 0,29	4,9793	6,72	± 0,21	3,5714
8	6,06	± 0,11	1,9802	6,12	± 0,13	2,4015	6,3	± 0	0	6,3	± 0	0
9	8,52	± 0,40	5,2700	8,64	± 0,39	5,1031	8,7	± 0,29	3,7774	8,88	± 0,32	4,0541
10	10,08	± 0,52	5,8321	9,84	± 0,69	8,0432	10,32	± 0,77	8,5447	10,08	± 0,52	5,8321
11	7,8	± 0,47	6,8802	7,74	± 0,48	7,1048	8,04	± 0,48	6,8397	8,04	± 0,48	6,8397
12	8,58	± 0,32	4,1958	8,34	± 0,39	5,2867	8,76	± 0,48	6,2775	8,76	± 0,48	6,2775
13	8,4	± 0,71	9,5832	8,76	± 0,90	11,744	8,1	± 0,80	11,234	8,4	± 0,86	11,737
14	8,88	± 0,39	5,0563	9	± 0,29	3,6515	9,3	± 0,29	3,5337	9,3	± 0,29	3,5337

Hodnoty prodyšnosti vzorků a procentuální rozdíl hodnot po působení teploty a vlhkosti jsou uvedeny v tabulce 9. Pro výpočet prodyšnosti R [ml/s] byl použit patřičný vzorec:

$$R = \frac{\bar{q}_v}{A} \cdot 167,$$

kde \bar{q}_v je aritmetický průměr rychlosti průtoku vzduchu [l/min]

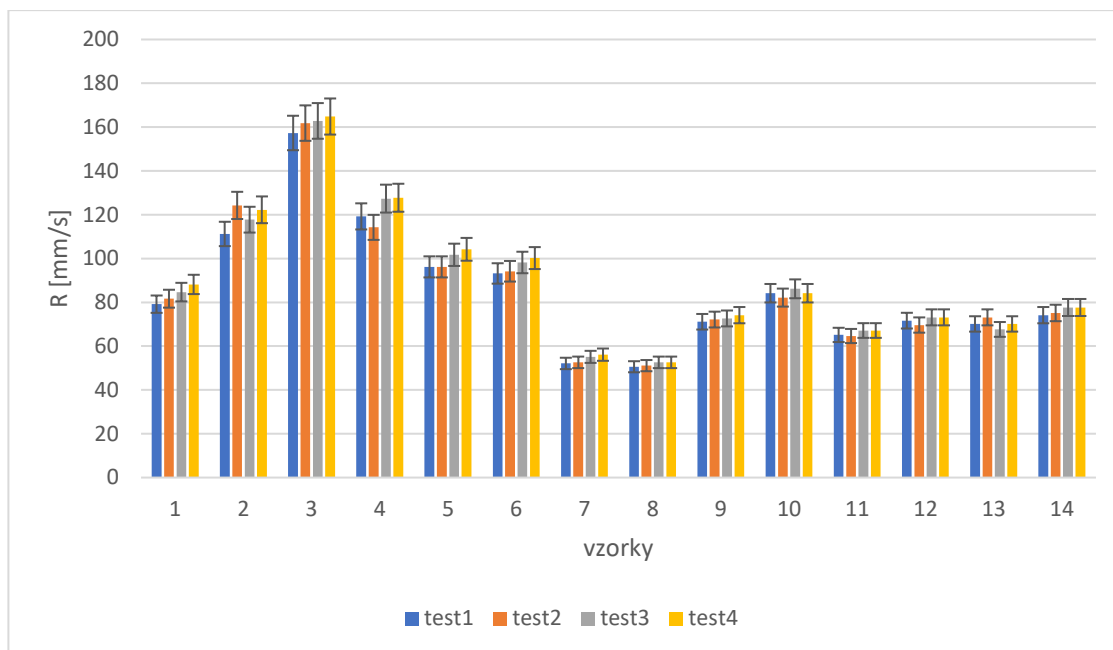
A – zkoušená plocha vzorku – 20 [cm²]

167 – přepočítávací faktor z [l/min] na [mm/s]

Tabulka 9 - Vliv teploty a vlhkosti na prodyšnost textilních vrstev

Prodyšnost R [mm/s]								
Vzorky	Test 1	Test 2	-[%]	Test 3	-[%]	Test 4	-[%]	
ZP	1	79,158	81,663	3,2	84,669	6,96	88,176	11,4
	2	111,222	124,248	11,7	117,735	5,9	122,244	9,91
	3	157,314	161,823	2,9	162,825	3,5	164,829	4,8
	4	119,238	114,228	-4,2	127,3542	6,8	127,755	7,1
	5	96,192	96,192	0	101,703	5,7	104,208	8,3
	6	93,186	94,188	1,1	98,196	5,4	100,2	7,5
OOP	7	52,104	52,605	0,96	55,11	5,8	56,112	7,7
	8	50,601	51,102	0,99	52,605	3,96	52,605	3,96
	9	71,142	72,144	1,4	72,645	2,1	74,148	4,2
	10	84,168	82,164	-2,4	86,172	2,4	84,168	0
	11	65,13	64,629	-0,8	67,134	3,1	67,134	3,1
	12	71,643	69,639	-2,8	73,146	2,1	73,146	2,1
	13	70,14	73,146	4,3	67,635	-3,6	70,14	0
	14	74,148	75,15	1,4	77,655	4,7	77,655	4,7

Následně byl vygenerován skupinový sloupcový graf pro grafické znázornění a porovnání hodnot (viz obr. 27). Výrazně nejvyšší prodyšnost patrně projevuje vzorek číslo 3 a výrazně nejnižší hodnoty patří vzorkům 7 a 8. Pro seřazení testovaných vzorků dle hodnot prodyšnosti od nejvyšší po nejnižší byly vybrány hodnoty testu 1, jakožto hodnoty prodyšnosti před simulací nošení (viz tab. 10).



Obrázek 27 - Porovnávací graf prodyšnosti textilních vrstev

Tabulka 10 - Seřazení vzorků dle hodnot prodyšnosti od nejvyšší do nejnižší

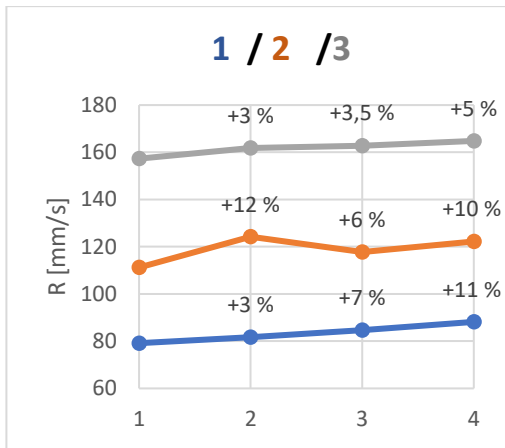
P. Č	Vzorky	Test 1	Vrstvení	Tvar	Výrobce
1	3	157,314	3	Skládací	Steriwind (dětská)
2	4	119,238	3	Skládací	Good Mask
3	2	111,222	3	Skládací	Steriwind
4	5	96,192	3	Skládací	Balerina
5	6	93,186	3	3D	Safety Nano Protect
6	10	84,168	4	3D	JW
7	1	79,158	3	Skládací	Opharm
8	14	74,148	5	3D	Balerina
9	12	71,643	5	3D	CFU-Mask
10	9	71,142	3	3D	Royax
11	13	70,14	3	3D	BreaSAFE
12	11	65,13	5	3D	Mondo Medical
13	7	52,104	5	3D	Promedor24
14	8	50,601	5	3D	Famica
legenda					
	ZP	ZP (nano)		OOP	OOP (nano)

Na prvním místě se umístil vzorek číslo 3 patřící ZP pro děti od firmy Steriwund. Vzorek prokazuje pochopitelně výrazně vyšší prodyšnost než ostatní masky. Vzorky 5 a 6 patřící produktům s označením nano neprokázaly vyšší prodyšnost než ostatní ve skupině ZP. Nejnižší prodyšnost textilních vrstev ve své skupině vykazuje zdravotnická maska číslo 1 a se svou hodnotou se řadí spíše do skupiny OOP.

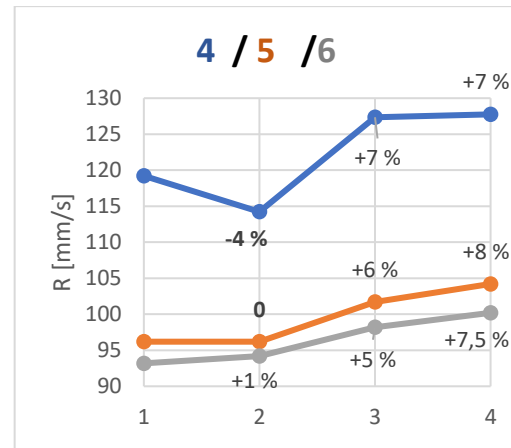
Skupina OOP vzhledem ke své specifikaci prokazuje nižší hodnoty prodyšnosti, což napovídá, že filtrační schopnosti masek v této skupině jsou vyšší. Jediná čtyřvrstvá maska se skupiny OOP se řadí svou vysokou prodyšností spíše do skupiny ZP.

Výborně se projevuje pětivrstvá nano maska od firmy Balerina ve skupině OOP. Tady se dá předpokládat, že použití nano membrány u pětivrstvé OOP zvyšuje prodyšnost textilních vrstev. Například pouze třívrstvá nano maska s číslem 3 se zařadila mezi další OOP z NT, což nabádá k dalšímu případnému porovnání dvou nano masek ze skupiny OOP představených v této práci.

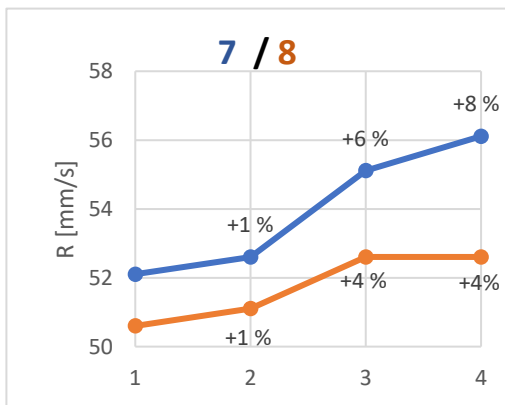
Ze skupinového sloupcového grafu (viz obr. 27) je patrné, že vliv teploty a vlhkosti v čase působí spíše zvýšením parametru prodyšnosti u všech zkoumaných vzorků. Pro detailní hodnocení tohoto jevu byly následně vygenerovány spojnicové grafy, které zobrazují změny prodyšnosti v procentuálním vyjádření (viz obr. 28–33). Osa x uvádí testy v pořadí od 1 do 4 jak byly prováděny a spojením hodnot lze názorně sledovat pokles či nárůst hodnot pod vlivu teploty a vlhkosti v čase (po 1, 4 a po 24 hodinách simulace nošení). Procentuální změny hodnot testu 2 až 4 jsou vypočítány vůči stanoveným hodnotám prodyšnosti v testu 1.



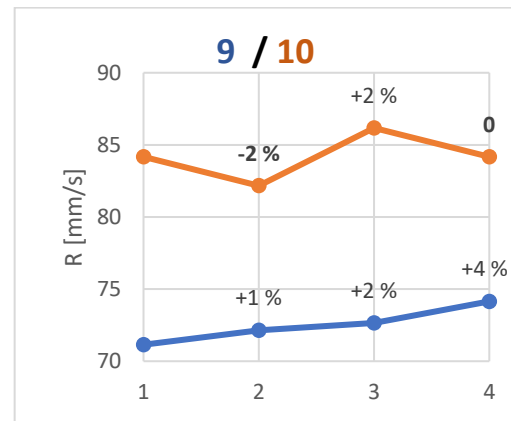
Obrázek 28 - Graf vývoje prodyšnosti po vlivu teploty a vlhkosti pro masky 1-3



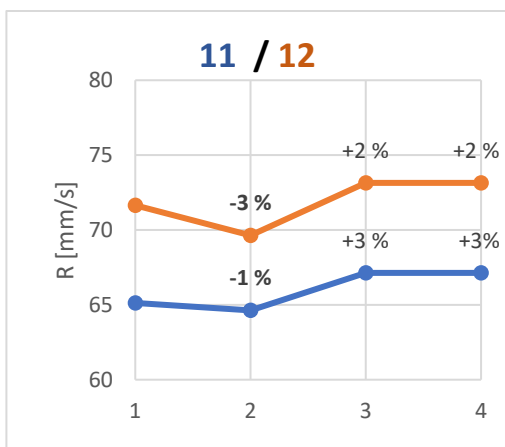
Obrázek 29 - Graf vývoje prodyšnosti po vlivu teploty a vlhkosti pro masky 4-6



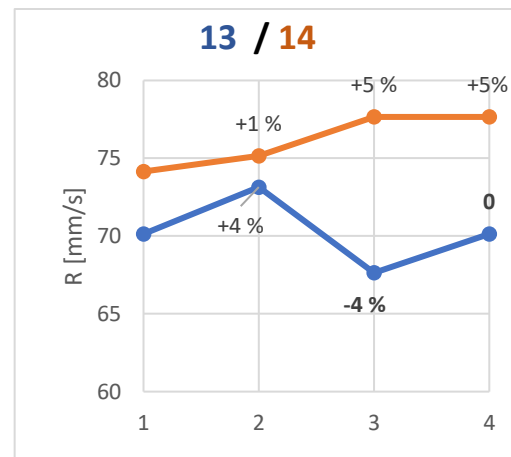
Obrázek 30 - Graf vývoje prodyšnosti po vlivu teploty a vlhkosti pro masky 7 a 8



Obrázek 31 - Graf vývoje prodyšnosti po vlivu teploty a vlhkosti pro masky 9 a 10



Obrázek 32 - Graf vývoje prodyšnosti po vlivu teploty a vlhkosti pro masky 11 a 12



Obrázek 33 - Graf vývoje prodyšnosti po vlivu teploty a vlhkosti pro masky 13 a 14

Po znázornění spojnicových grafů vývoje prodyšnosti lze sledovat postupný přírůstek hodnot prodyšnosti u produktů 1, 3, 6-9 a 14. Zbytek testovaných vzorků prokazuje nevýznamné kolísání hodnot v čase, avšak ve výsledku po testu simulujícím 24hodinové užívání 12 ze 14-ti vzorků různých typů masek prokázalo zvýšení hodnot prodyšnosti. Je třeba vytýčit dva vzorky 10 a 13, které ve výsledném testu prokázaly, že vliv teploty a vlhkosti na jejich prodyšnost je nulový. Pro lepší přehlednost byly vzorky následně seřazené dle procentuálního přírůstu prodyšnosti od 0 % až do 11 % po 24 hodinách vlivu teploty a vlhkosti (viz tab. 11).

Tabulka 11- Procentuální přírůstek prodyšnosti po 24-hodinové simulaci nošení

P. Č	1	2	3	4	5	6	7
Vzorky	13	10	12	11	8	9	14
Přírůstek R [%]	0	0	2	3	4	4,2	4,7
P. Č	8	9	10	11	12	13	14
Vzorky	3	4	6	7	5	2	1
Přírůstek R [%]	4,8	7,1	7,5	7,7	8	10	11

Bylo stanoveno, že vliv teploty a vlhkosti (předpokládané použití obličejových masek) způsobí zvýšení prodyšnosti masek následně:

- Po hodině vlivu teploty a vlhkosti v průměru o 1,3 %
- Po čtyřech hodinách v průměru o 3,9 %
- Po 24 hodinách v průměru o 5,3 %

V procentuálním seřazení vlivu nošení lze také sledovat, že stejné typy produktů jsou promíchané mezi sebou, což vede k úvaze, že tvrzení výrobců o delší době užívání produktu s využitím nano vrstev nemusí platit. Jedině nano maska s číslem 13 nevykazuje zvýšení prodyšnosti po 24hodinové simulaci nošení, čímž by neměla klesat ani její filtrační schopnost.

4.3.4 Vyhodnocení prodýchatelnosti a vlivu užívání masek na prodýchatelnost textilních vrstev

Hodnoty diferenčního tlaku ΔP [Pa/cm²] byly odečítány přímo z diferenciálního manometru a zapsány do tabulky postupně pro každý test. Působení teploty a vlhkosti na vzorky v klimatizované komoře bylo provedeno stejným způsobem jako u testu

prodýšnosti. Průměrná hodnota z minimálního $n=5$ je dle této normy hodnotou k určení klasifikace masek ze skupiny ZP: <40 – Typ I a Typ II, <60 – Typ IIR (viz tab. 3, str.20).

Pro tento experiment byla provedena statistická analýza dat stejně jako pro ostatní testy skupiny vybraných masek. Test 1 uvádí stanovené hodnoty diferenčního tlaku ΔP [Pa/cm²] pro zkoumané textilní vrstvy a následující testy 2 až 4 uvádí stejný parametr po působení teploty a velikosti na textilní vrstvy (viz tab. 12).

Tabulka 12 - Prodýchatelnost masek ΔP [Pa/cm²]

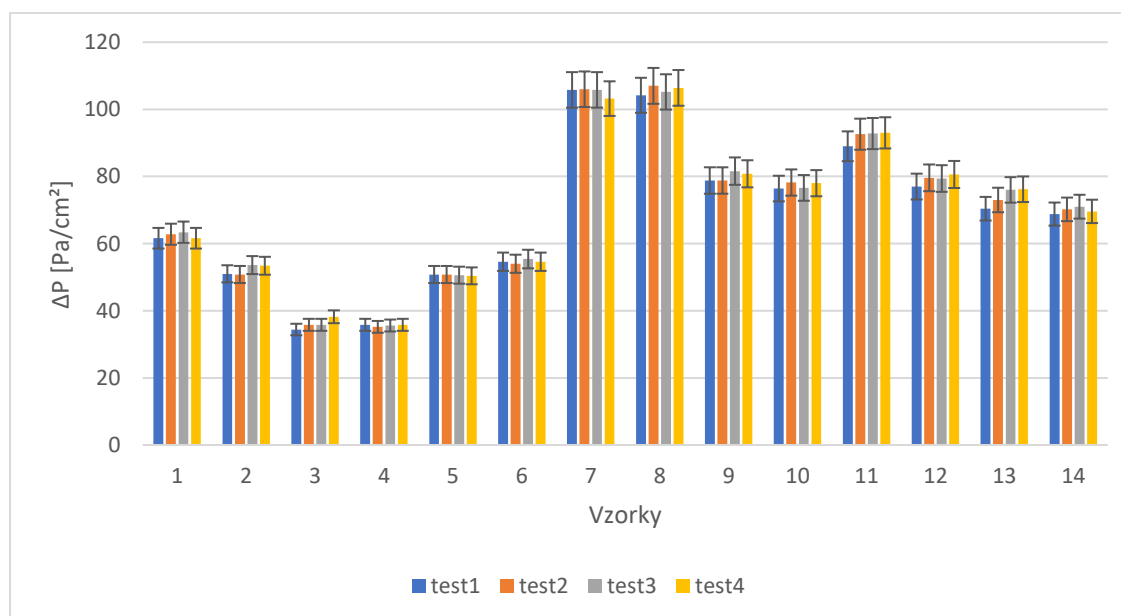
	Test 1			Test 2			Test 3			Test 4		
	\bar{x}	IS	v_x	\bar{x}	IS	v_x	\bar{x}	IS	v_x	\bar{x}	IS	v_x
1	61,6	$\pm 1,888$	3,4969	62,8	$\pm 1,288$	2,3403	63,4	$\pm 0,429$	0,7721	61,6	$\pm 1,052$	1,9480
2	51	$\pm 5,171$	11,567	50,8	$\pm 5,123$	11,505	53,6	$\pm 3,865$	8,2258	53,4	$\pm 4,171$	8,9103
3	34,4	$\pm 0,701$	2,3255	35,8	$\pm 3,156$	10,056	35,8	$\pm 1,700$	5,4164	38,2	$\pm 6,522$	19,477
4	35,8	$\pm 1,700$	5,4164	35,2	$\pm 2,029$	6,5772	35,6	$\pm 1,970$	6,3061	35,8	$\pm 2,378$	7,5780
5	50,8	$\pm 1,607$	3,6083	50,8	$\pm 0,656$	1,4731	50,6	$\pm 1,052$	2,3715	50,4	$\pm 0,701$	1,5873
6	54,6	$\pm 3,213$	6,7143	54	$\pm 2,881$	6,0858	55,4	$\pm 3,308$	6,8115	54,6	$\pm 3,213$	6,7143
7	105,8	$\pm 0,656$	0,7073	106	$\pm 0,784$	0,8437	105,8	$\pm 0,656$	0,7073	103,2	$\pm 1,288$	1,4241
8	104,2	$\pm 0,859$	0,9403	107	$\pm 1,753$	1,8691	105,2	$\pm 0,656$	0,7113	106,4	$\pm 1,052$	1,127
9	78,8	$\pm 3,936$	5,6980	78,8	$\pm 3,006$	4,3518	81,6	$\pm 3,865$	5,4032	80,8	$\pm 3,006$	4,2441
10	76,4	$\pm 5,533$	8,2616	78,2	$\pm 4,483$	6,5405	76,6	$\pm 6,188$	9,2163	78	$\pm 5,020$	7,3424
11	89	$\pm 3,280$	4,2041	92,6	$\pm 3,532$	4,3519	92,8	$\pm 3,006$	3,6953	93	$\pm 4,222$	5,179
12	77	$\pm 7,099$	10,519	79,6	$\pm 6,479$	9,2862	79,4	$\pm 7,593$	10,910	80,6	$\pm 7,450$	10,545
13	70,4	$\pm 4,820$	7,8112	73	$\pm 5,051$	7,8930	76	$\pm 6,512$	9,7758	76,2	$\pm 6,498$	9,7290
14	68,8	$\pm 5,499$	9,1188	70,2	$\pm 5,903$	9,5939	71	$\pm 6,721$	10,800	69,6	$\pm 6,311$	10,344

Tabulka 13 uvádí navíc procentuální pohyb hodnot prodýchatelnosti po vlivu teploty a vlhkosti pro testy 2 až 4 vůči testu 1 (viz str. 45).

Tabulka 13 - Vliv teploty a vlhkosti na prodýchatelnost textilních vrstev

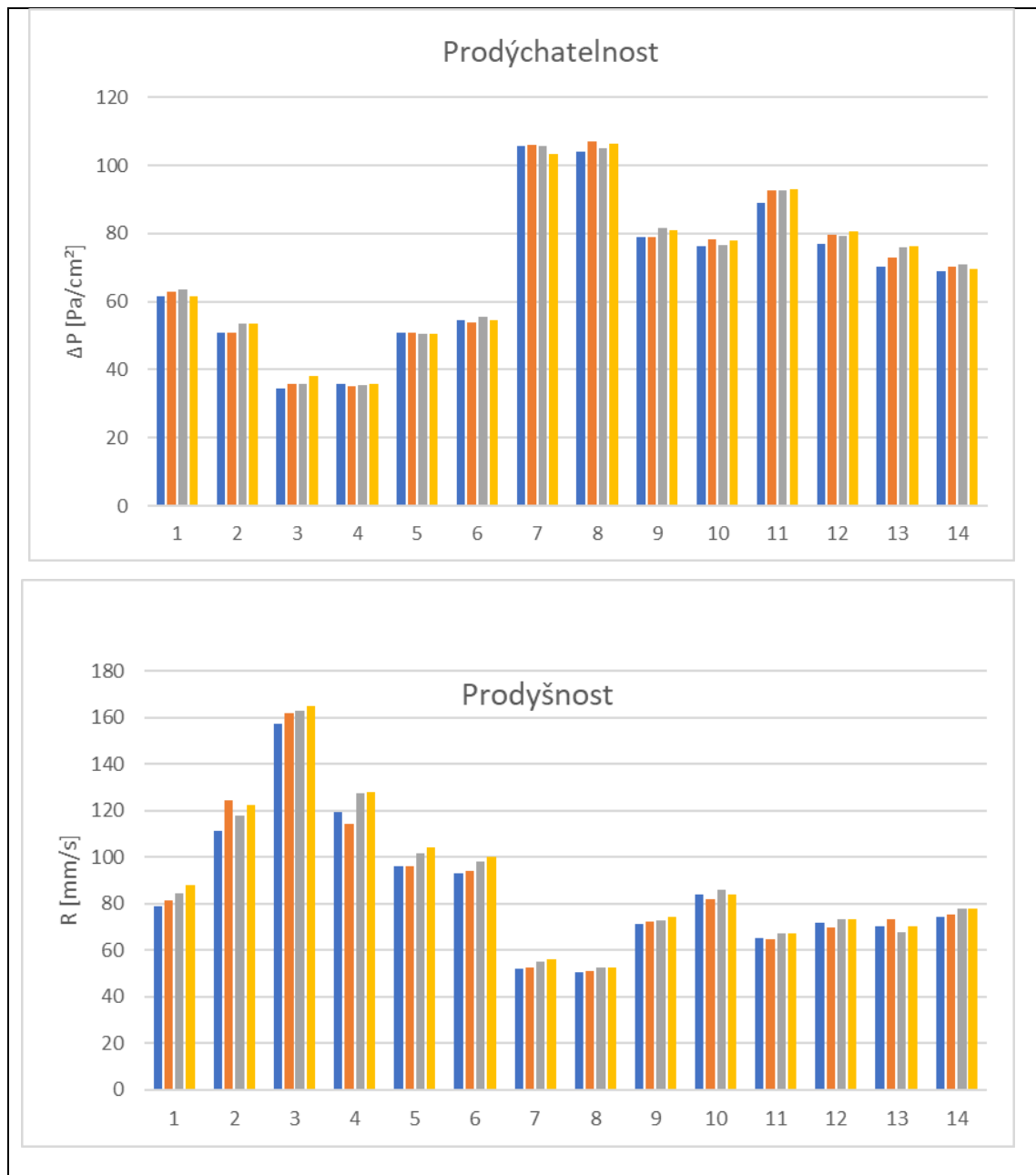
Prodýchatelnost ΔP [Pa/cm ²]								
Vzorky	Test 1	Test 2	-[%]	Test 3	-[%]	Test 4	-[%]	
ZP	1	61,6	62,8	1,95	63,4	2,9	61,6	0
	2	51	50,8	-0,4	53,6	5,1	53,4	4,7
	3	34,4	35,8	4,1	35,8	4,1	38,2	11,1
	4	35,8	35,2	-1,7	35,6	-0,6	35,8	0
	5	50,8	50,8	0	50,6	-0,4	50,4	-0,8
	6	54,6	54	-1,1	55,4	1,5	54,6	0
OOP	7	105,8	106	0,9	105,8	0	103,2	-2,5
	8	104,2	107	2,7	105,2	0,96	106,4	2,1
	9	78,8	78,8	0	81,6	3,6	80,8	2,5
	10	76,4	78,2	2,4	76,6	0,3	78	2,1
	11	89	92,6	4,1	92,8	4,3	93	4,5
	12	77	79,6	3,4	79,4	3,1	80,6	4,7
	13	70,4	73	3,7	76	7,95	76,2	8,2
	14	68,8	70,2	2	71	3,2	69,6	1,2

Následně byl vygenerován skupinový sloupcový graf pro grafické znázornění a porovnání hodnot prodýchatelnosti textilních vrstev (viz obr. 34).



Obrázek 34 - Porovnávací graf prodýchatelnosti textilních vrstev

Při názorném porovnání grafického zobrazení prodyšnosti a prodýchatelnosti byl zaznamenán převrácený obraz hodnot těchto dvou grafů (viz obr. 35). Vzorky 7 a 8, které v testu prodyšnosti prokázaly nejnižší hodnoty rychlosti průtoku vzduchu přes textilní vrstvy, v testu prodýchatelnosti prokazují nejvyšší hodnoty. Parametrem hodnot prodýchatelnosti je diferenční tlak [Pa/cm^2], který je zapotřebí pro prodechnutí textilních vrstev, z čeho vyplývá, že nejhůř prodýchatelná maska bude mít nejvyšší hodnotu prodýchatelnosti.



Obrázek 35 - Náhled sloupcových grafů prodýchatelnosti a prodyšnosti pro názorné porovnání

Pro zhodnocení prodýchatelnosti textilních vrstev byly následně seřazeny hodnoty prvního testu a pro snadné porovnání s výsledky prodyšnosti bylo řazení provedeno v opačném směru, a to od nejnižší po nejvyšší hodnotu (viz tab. 14).

Tabulka 14- Seřazení vzorků dle hodnot prodýchatelnosti od nejnižší do nejvyšší

P. Č.	Vzorky	Test 1 [Pa/cm ²]	Vrstvení	Tvar	Výrobce
1	3	34,4	3	Skládací	Steriwind (dětská)
2	4	35,8	3	Skládací	Good Mask
3	5	50,8	3	Skládací	Balerina
4	2	51	3	Skládací	Steriwind
5	6	54,6	3	3D	Safety Nano Protect
6	1	61,6	3	3D	Opharm
7	14	68,8	5	3D	Balerina
8	13	70,4	3	3D	BreaSAFE
9	10	76,4	4	3D	JW
10	12	77	5	3D	CFU-Mask
11	9	78,8	3	3D	Royax
12	11	89	5	3D	Mondo Medical
13	8	104,2	5	3D	Famica
14	7	105,8	5	3D	Promedor24
legenda					
ZP	ZP (nano)	OOP	OOP (nano)		

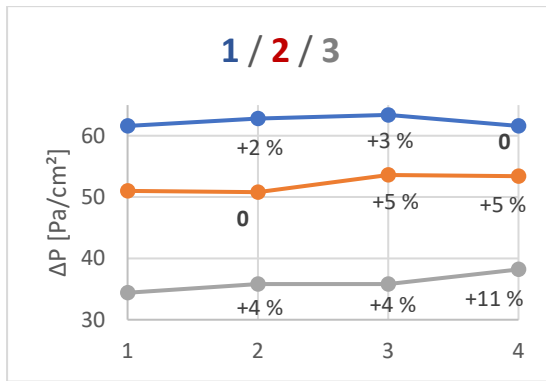
Na prvním místě se, stejně jako v případě prodyšnosti, zařadila dětská skládací maska. OOP s číslem 7 a 8 mají překlopené pořadí vůči prodyšnosti, ale stejně tak jsou umístěny na konci řebříčku.

V tomto testu se OOP a ZP rozdělily v pořadí na dvě vlastní skupiny, přičemž ZP mají nižší hodnoty prodýchatelnosti a OOP vyšší, což, jak bylo výše popsáno, znamená, že ZP jsou lépe prodýchatelné a OOP hůře. Toto rozdělení také potvrzují požadavky norem. ZP musí klást maximální odpor 40 až 60 Pa/cm² a OOP od 60 do 300 Pa/cm². Po analýze hodnot prodýchatelnosti bylo zjištěno, že odpor vzorku číslo 1 ze skupiny ZP přesahuje povolenou hodnotu.

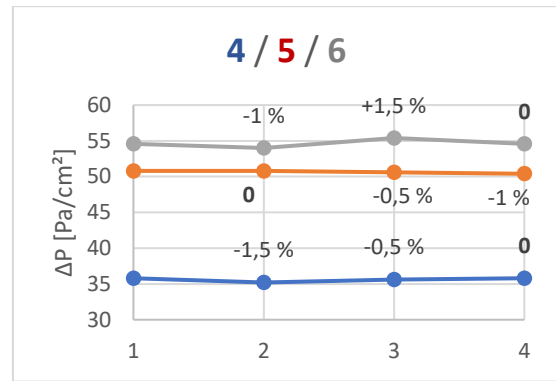
Nano masky ve skupině ZP neprojevují svou odlišnost vůči prodýchatelnosti, zato nano masky OOP (13 a 14) jsou ve své skupině nejlépe prodýchatelné. Výrobce řadí tyto

produkty do třídy FFP2 s parametrem filtrační účinnosti PFE ≥ 94 %, ale jejich odpor kolem 70 Pa/cm^2 dosahuje parametru třídy FFP3.

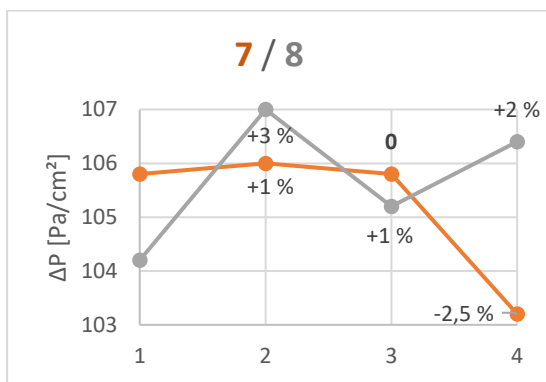
Dalším cílem bylo vyhodnotit vliv užívání masek na prodýchatelnost textilních vrstev. Pro detailní hodnocení tohoto jevu byly následně vygenerovány spojnicové grafy, které zobrazují změny prodyšnosti v procentuálním vyjádření (viz obr. 36–41).



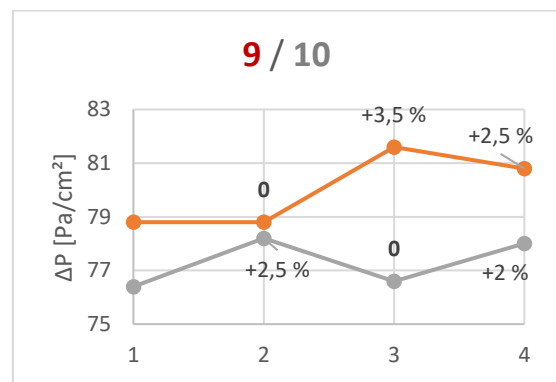
Obrázek 36 - Graf vývoje prodýchateľnosti po vlivu teploty a vlhkosti pro masky 1-3



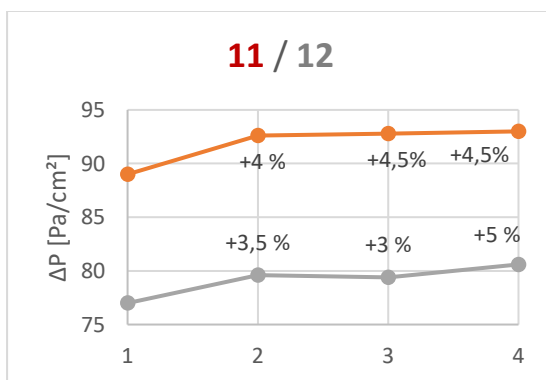
Obrázek 37 - Graf vývoje prodýchateľnosti po vlivu teploty a vlhkosti pro masky 4-6



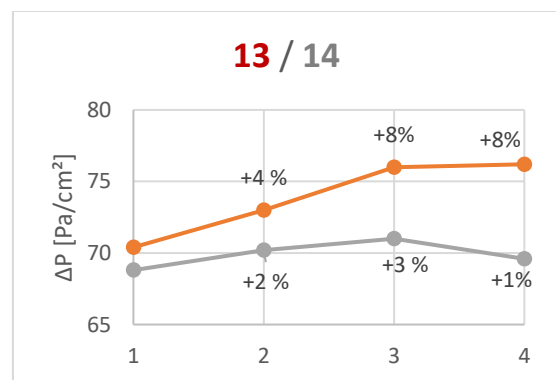
Obrázek 38 - Graf vývoje prodýchateľnosti po vlivu teploty a vlhkosti pro masky 7 a 8



Obrázek 39 - Graf vývoje prodýchateľnosti po vlivu teploty a vlhkosti pro masky 9 a 10



Obrázek 40 - Graf vývoje prodýchateľnosti po vlivu teploty a vlhkosti pro masky 11 a 12



Obrázek 41 - Graf vývoje prodýchateľnosti po vlivu teploty a vlhkosti pro masky 12 a 13

Po znázornění spojnicových grafů vývoje prodýchání lze sledovat po čtvrtém testu nulovou hodnotu procentuální změny prodýchání u produktů 1, 4 a 6 po mírném

kolísání (-0,5 %, +3 %). Do této skupiny lze také zahrnout produkt číslo 5 s nevýznamným pohybem hodnot do -1 %.

Jediný produkt číslo 7 po čtvrtém testu snížil svou hodnotu prodýchatelnosti přibližně o 2,5 % (viz obr. 38). Tento jev ve výsledku pravděpodobně znamená, že po vlivu teploty a vlhkosti během 24 hodin je tento produkt o 2,5 % lépe prodýchatelný (menší diferenciální tlak), i když se pohybujeme u tak zanedbatelné procentuální hodnoty změny.

Textilní vrstvy produktu číslo 3 ve výsledku vykazují přírůstek hodnoty až o 11 %. Zbylé testované vzorky rovněž vykazují procentuální nárůst hodnot prodýchatelnosti, a to do 8 % (viz tab. 15).

Tabulka 15 - Procentuální změna prodýchatelnosti po 24-hodinové simulaci nošení

P. Č	1	2	3	4	5	6	7
Vzorky	7	5	6	4	1	14	10
Změna ΔP [%]	-2,5	-1	0	0	0	+1	+2
P. Č	8	9	10	11	12	13	14
Vzorky	8	9	11	2	12	13	3
Změna ΔP [%]	+2	+2,5	+4,5	+5	+5	+8	+11

4.3.5 Vyhodnocení propustnosti vodních par a vlivu užívání masek na propustnost vodních par přes textilní vrstvy

Kompletní výsledky testu propustnosti vodních par obsahují data pro každou hodinu měření 14 produktů, kdy z každého produktu byly měřeny tři vzorky a doba měření je dle normy 24 hodin (viz příloha I).

Celkem bylo pro tento časově náročný test použito 42 vzorků textilních vrstev použitých pro výrobu ochranné obličejové masky. Samotné měření trvalo 96 hod bez přidaného času na:

- přípravu vzorků
- přípravu, nastavení přístroje a dosažení nastavených parametrů
- umístění, výměnu a odebrání vzorků

Pro účely porovnání vlivu teploty a vlhkosti na propustnost vodních par s vlivy předpokládaného užívání na prodyšnost a prodýchatelnost byla vybrána data WVTR (Water Vapor Transmission Rate) [$g / m^2 \cdot d$], která byla označena následně:

- Test 1 – propustnost vodních par po 1 hodině testování
- Test 2 – propustnost vodních par po 4 hodinách testování
- Test 3 – propustnost vodních par po 24 hodinách testování

Z výsledků třech testů byly stanoveny střední hodnoty propustnosti vodních par a byla provedena statistická analýza dat jako u předchozích testů (viz tab. 16).

Tabulka 16 - Propustnost vodních par WVTR [$\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{d}$] po 1, 4 a 24 hodinách měření

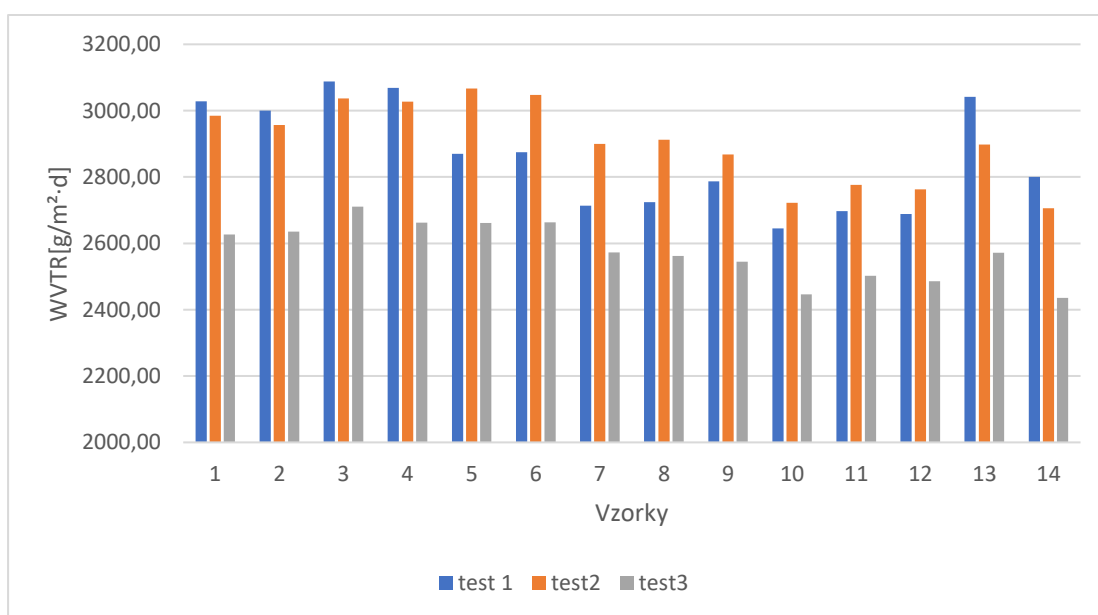
	Test 1			Test 2			Test 3		
	\bar{x}	IS 95	v_x [%]	\bar{x}	IS 95	v_x [%]	\bar{x}	IS 95	v_x [%]
1	3028,00	± 12,011	0,35054	2984,67	18,943	0,56086	2626,67	± 6,5550	0,22053
2	3000,00	± 18,548	0,54636	2956,67	19,759	0,59056	2635,33	± 18,943	0,63520
3	3087,67	± 17,637	0,50474	3037,00	12,011	0,34950	2710,33	± 27,242	0,88822
4	3068,33	± 26,527	0,76401	3027,33	26,543	0,77483	2662,67	± 23,706	0,78679
5	2870,33	± 29,135	0,89699	3067,00	24,861	0,71632	2661,67	± 19,033	0,63190
6	2874,33	± 18,670	0,57401	3047,67	34,252	0,99319	2663,33	± 26,720	0,88658
7	2713,67	± 16,433	0,53514	2900,00	18,456	0,56239	2572,67	± 21,357	0,73363
8	2724,33	± 14,735	0,47796	2912,00	13,610	0,41304	2561,67	± 11,880	0,40983
9	2786,67	± 7,4681	0,23683	2868,00	9,6462	0,29722	2545,00	± 12,836	0,44570
10	2645,33	± 51,561	1,72248	2722,33	50,007	1,62329	2446,00	± 40,242	1,45389
11	2696,67	± 39,593	1,29748	2776,00	39,503	1,25754	2502,33	± 39,744	1,40357
12	2688,33	± 44,888	1,47556	2762,33	43,004	1,37575	2485,67	± 16,843	0,59882
13	3041,33	± 36,846	1,07061	2898,00	51,509	1,57071	2571,33	± 46,979	1,61456
14	2800,33	± 41,168	1,29915	2705,33	40,086	1,30942	2436,00	± 27,221	0,9875

Tabulka 17 je navíc doplněna procentuálním rozdílem hodnot. V průměru byl stanoven nárůst hodnot o 1,7% po čtyřech hodinách měření (vlivu teploty a vlhkosti) a pokles hodnot v průměru o 9,7% po 24 hodinách vůči hodnotám měření po první hodině.

Tabulka 17 - Vliv teploty a vlhkosti na propustnost vodních par přes textilní vrstvy

Propustnost vodních par (WVTR) [$g / m^2 \cdot d$]						
Vzorky	Test 1	Test 2	-[%]	Test 3	-[%]	
ZP	1	3028,00	2984,67	1,4	2626,67	13,3
	2	3000,00	2956,67	1,5	2635,33	12,2
	3	3087,67	3037,00	1,6	2710,33	12,2
	4	3068,33	3027,33	1,3	2662,67	13,2
	5	2870,33	3067,00	-6,9	2661,67	7,3
	6	2874,33	3047,67	-6,0	2663,33	7,3
OOP	7	2713,67	2900,00	-6,8	2572,67	5,2
	8	2724,33	2912,00	-6,9	2561,67	6,0
	9	2786,67	2868,00	-2,9	2545,00	8,7
	10	2645,33	2722,33	-2,9	2446,00	7,5
	11	2696,67	2776,00	-2,9	2502,33	7,2
	12	2688,33	2762,33	-2,8	2485,67	7,5
	13	3041,33	2898,00	4,7	2571,33	15,5
	14	2800,33	2705,33	3,4	2436,00	13,0

Skupinový sloupcový graf třech zkoumaných vybraných dat z průběhu měření se projevil jako velmi chaotický a nepřehledný pro úvahu o rozdílnosti propustnosti vodních par přes textilní vrstvy u různých typů ochranných masek (viz obr. 42).



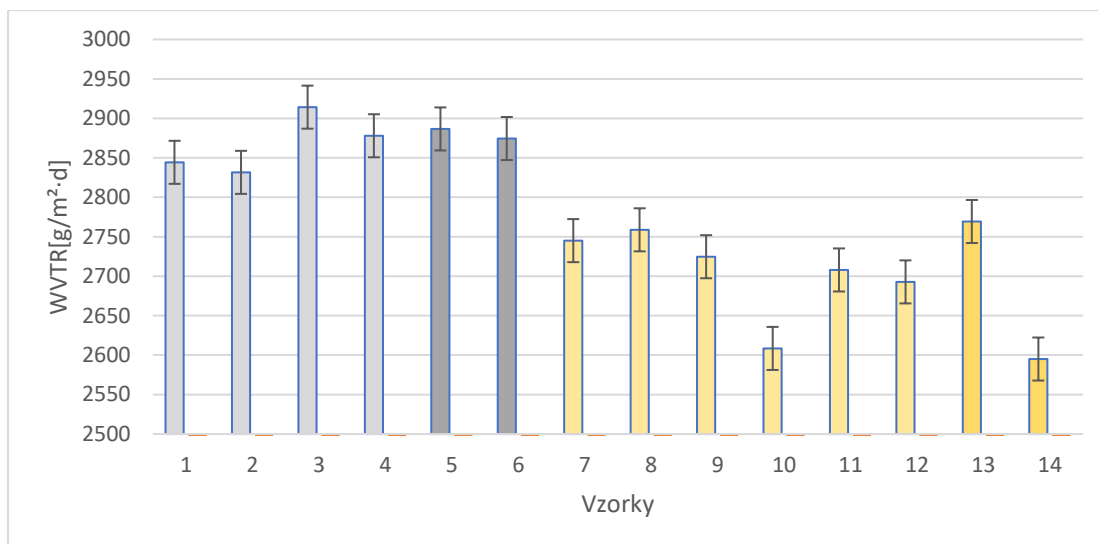
Obrázek 42 - Graf propustnosti vodních par přes textilní vrstvy po 1, 4 a 24 hodinách měření

Pro tento experiment bylo rozhodnuto stanovit výsledné hodnoty propustnosti vodních par jako střední hodnotu všech 24 hodnot pro každý vzorek. Propustnost vodních par tak představuje střední hodnotu třech měřených vzorků (test 1, test 2, test 3) pro každý produkt, a tato hodnota je zaokrouhlená na celé číslo dle normy (viz tab. 18).

Tabulka 18 - Propustnost vodních par

Vzorky	Test 1	Test 2	Test 3	(WVTR) [$g / m^2 \cdot d$]	
ZP	1	2863,875	2823,958	2845,083	2844
	2	2835	2805,875	2853,917	2832
	3	2919	2930,333	2893,375	2914
	4	2852,792	2918,083	2863,083	2878
	5	2854,708	2900,958	2904,25	2887
	6	2905,625	2869,417	2848,375	2875
OOP	7	2725,167	2773,75	2736,333	2745
	8	2756,792	2774,917	2744,667	2759
	9	2714,75	2741,458	2717,875	2725
	10	2570,083	2595,417	2659,917	2609
	11	2768,032	2685,5	2670,25	2708
	12	2764,509	2617,083	2696,792	2693
	13	2747,708	2734,375	2825,875	2769
	14	2551	2631,75	2602,375	2595

Následně byl vygenerován sloupcový graf pro porovnání propustnosti vodních par pro různé typy produktů. (viz obr. 43).



Obrázek 43 - Porovnávací graf propustnosti vodních par

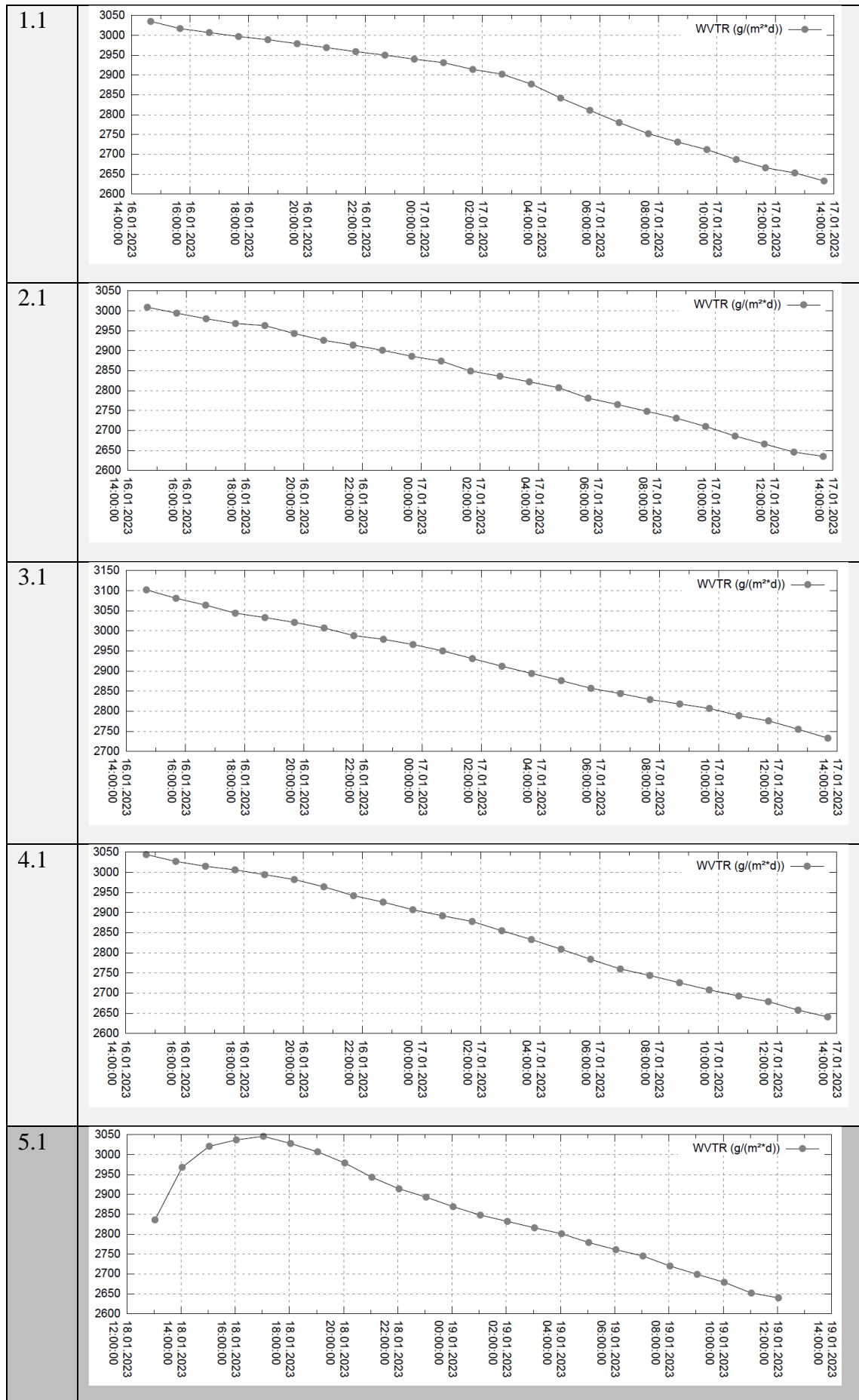
Z grafu na obrázku 43 je patrné rozdělení všech vzorků dle původního rozdělení na dvě skupiny. ZP 1 až 6 vykazují vyšší propustnost vodních par a OOP následně nižší hodnoty WVTR. Přičemž zvýrazněné produkty s použitím nano vrstev neprokazují výraznou odlišnost i v tomto testu. Lze jedinečně vyčlenit poslední vzorek číslo 14, který vykazuje nejnižší propustnost vodních par z celého souboru zkoumaných produktů.

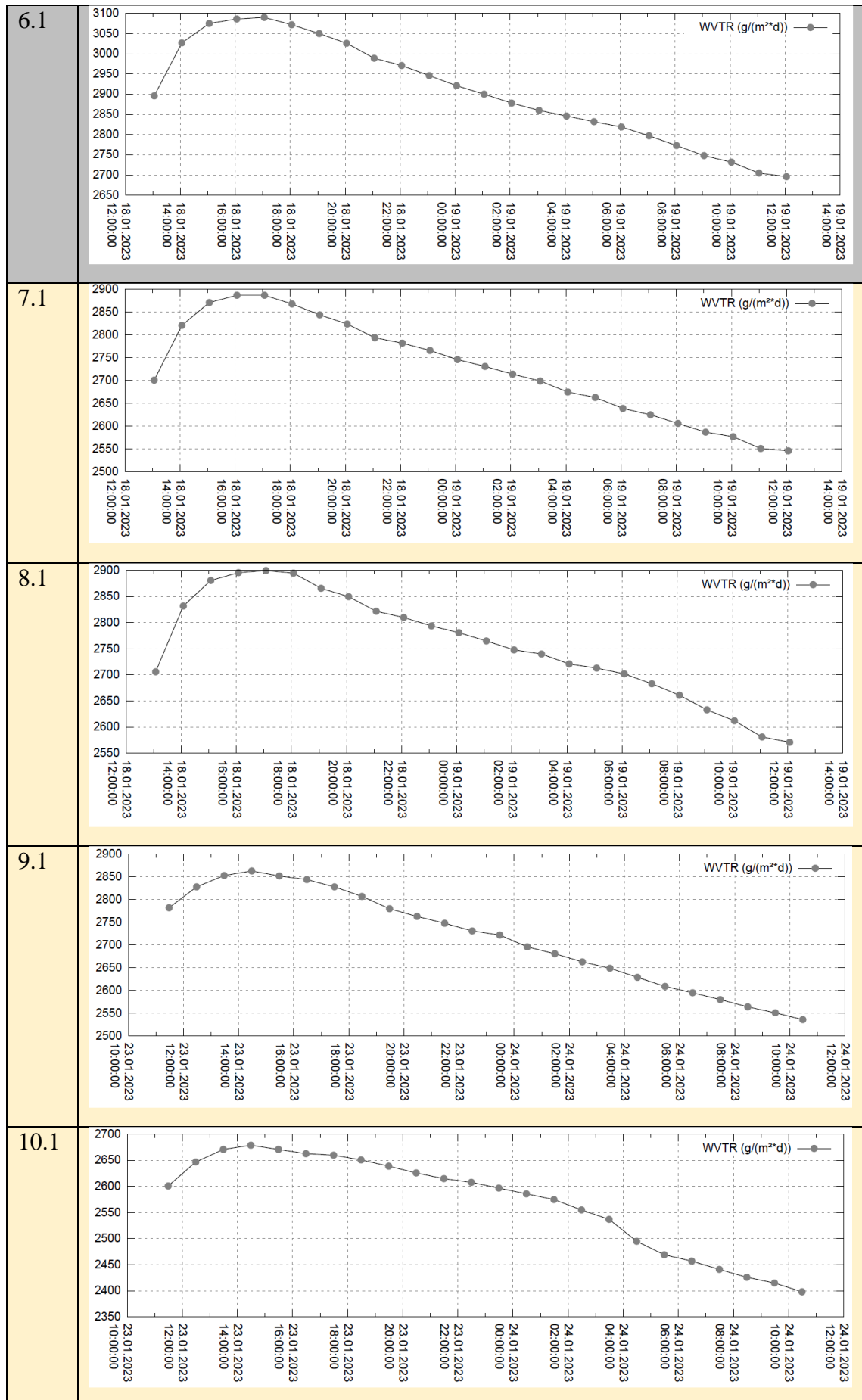
Pro zhodnocení propustnosti vodních par přes textilní vrstvy a následné porovnání s ostatními zkoumanými vlastnostmi obličejových masek byly výsledné hodnoty WVTR seřazeny do tabulky od nejvyšší po nejnižší (viz tab. 18).

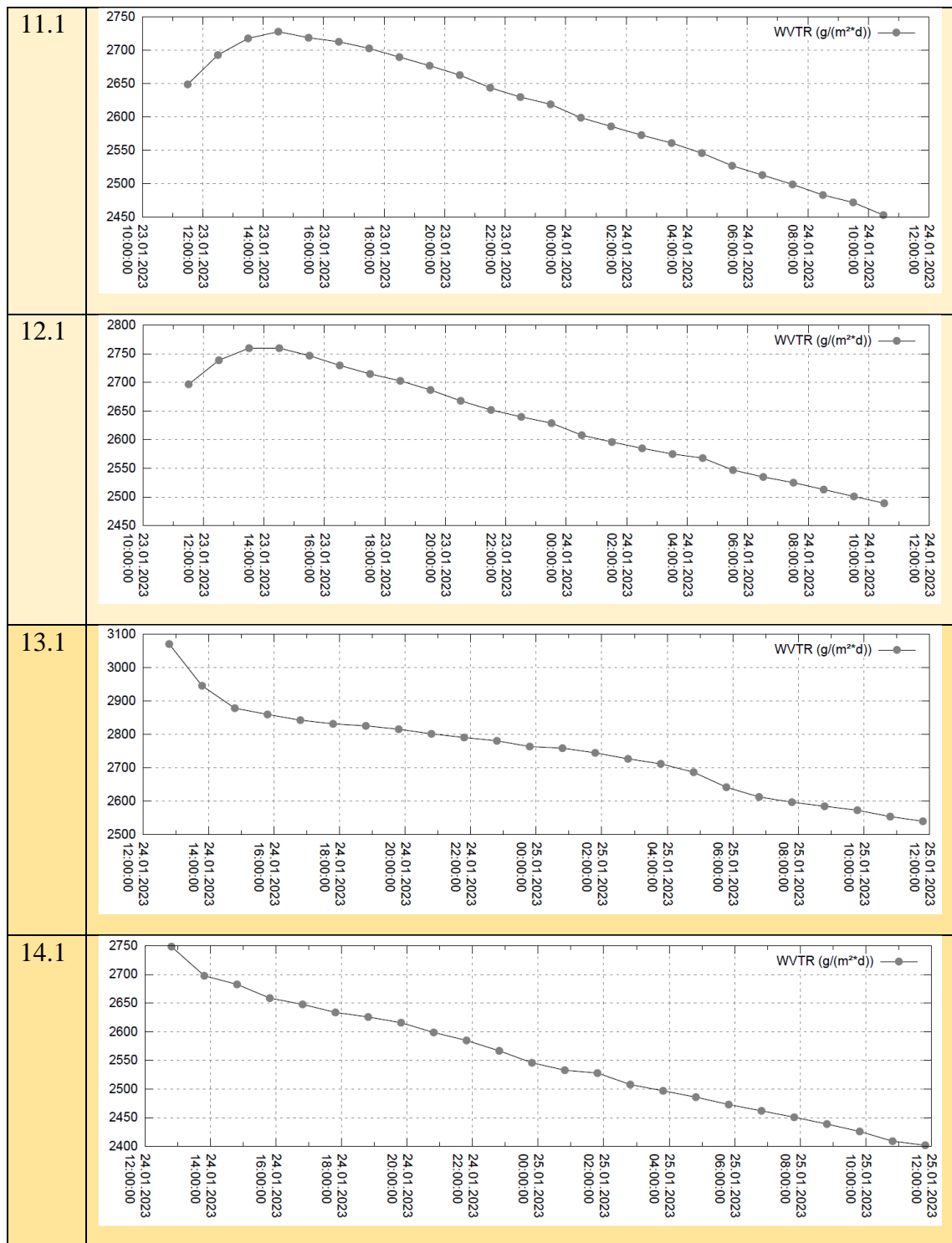
Tabulka 19 - Propustnost vodních par od nejvyšší po nejnižší

P. Č	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Vzorky	3	5	4	6	2	1	13	8	7	9	11	12	10	14

Cílem experimentu bylo stanovit vliv teploty a vlhkosti na vybrané vlastnosti obličejových masek. Vzhledem ke specifikaci postupu testu propustnosti vodních par nebylo relevantní použít pouze tři testovací hodnoty (po 1, 4 a po 24 hodinách) pro stanovení vlivu teploty a vlhkosti na tuto vlastnost. Není možné také stanovit hodnoty propustnosti vodních par před vlivem teploty a vlhkosti, jak tomu bylo u předchozích testů (teplota a vlhkost působí na vzorky v průběhu zkoušky). Proto byly následně znázorněny spojnicové grafy celého průběhu zkoušky pro první vzorky od každého produktu (viz obr. 46). Další výstupné grafy z tohoto testu jsou uloženy v příloze I této práce.







Obrázek 44 - Výsledné grafy průběhu testů propustnosti vodních par

Jak bylo výše uvedeno, zařízení pro měření propustnosti vodních par Textest FX 31 80 CupMaster udržuje přednastavené parametry teploty vzduchu a vlhkosti během celého procesu měření (24 hod.). Výsledkem testu pro každý vzorek je 24 hodnot WVTR [g/m²·d], které jsou seřazeny v čase po jedné hodině měření do tabulky. Výsledky jsou doplněny grafickým znázorněním průběhu zkoušky. Všechna data jsou pro svou obsáhlost uvedena v příloze 1 této práce.

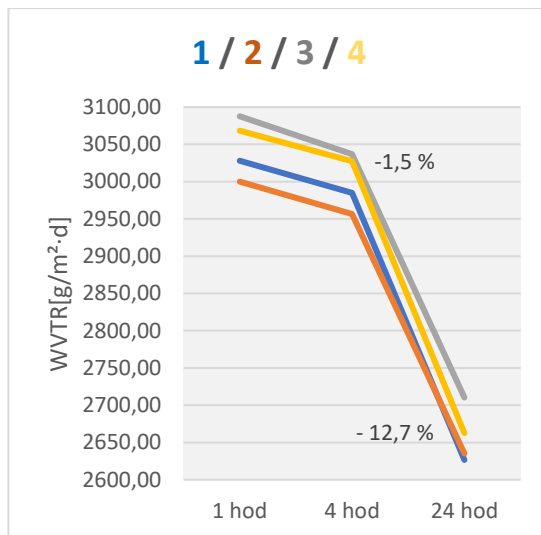
Z výsledných grafů lze sledovat dva typy chování křivky:

- A. Nejvyšší hodnota propustnosti vodní pár je zaznamenána po první hodině měření a následně se hodnoty postupně snižují
- B. Nejvyšší propustnost vodních par je zaznamenána v průměru po 4 hodinách měření a následně se postupně snižuje

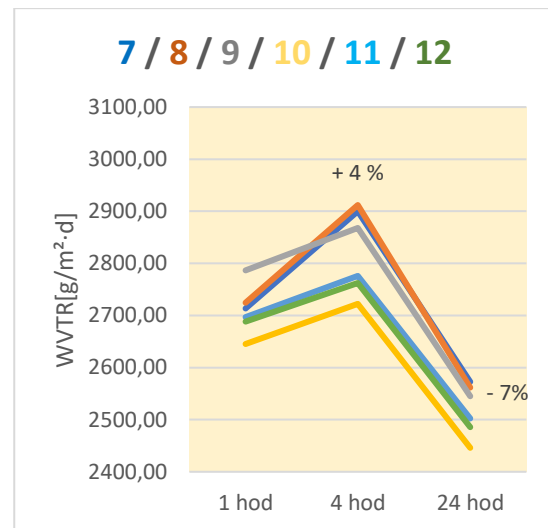
Zajímavým pozorováním je, že produkty s použitím nano vrstev vykazují odlišné chování křivky grafu ve svých skupinách. Vzorky ze skupiny ZP 1 až 4 mají výsledné grafy typu A, a vzorky 5 a 6 ze stejné skupiny ale s použitím nano vrstev grafy typu B. Stejný jev se projevuje ve skupině produktů OOP, ale opačně – vzorky 13 a 14 s nano vrstvami mají grafy typu A.

Vzhledem k výše popsaným úvahám lze konstatovat, že původně zvolené časové intervaly simulace používání obličejových masek jsou vyhovující i pro vyhodnocení vlivu teploty a vlhkosti na propustnost vodních par.

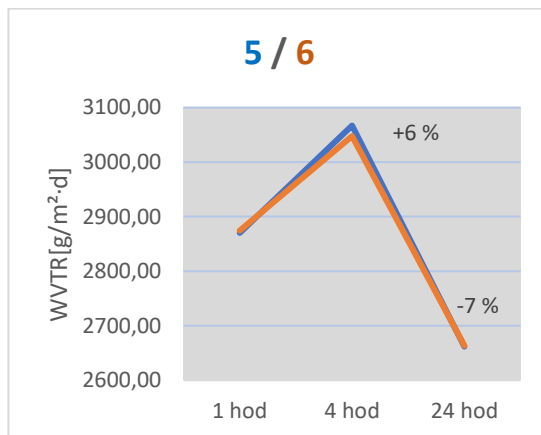
Pro detailní vyhodnocení vlivu teploty a vlhkosti na propustnost vodních par byly následně vygenerovány spojnicové grafy, které zobrazují změny prodyšnosti v procentuálním vyjádření ve své skupině grafů (viz obr. 45–48).



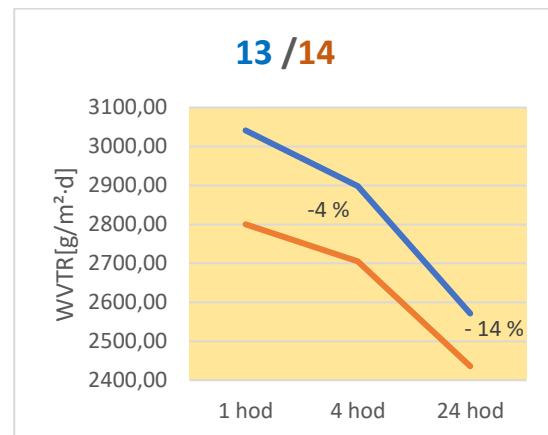
Obrázek 45 - Změny propustnosti vodních par ve vybraných časových intervalech pro masky 1 až 4



Obrázek 46 - Změny propustnosti vodních par ve vybraných časových intervalech pro masky 7 až 12



Obrázek 47 - Změny propustnosti vodních par ve vybraných časových intervalech pro masky 5 a 6



Obrázek 48 - Změny propustnosti vodních par ve vybraných časových intervalech pro masky 13 a 14

Vzhledem k mírnému zvýšení propustnosti vodních par po 4 hodinách měření se hodnoty po 24 hodinách snížily jen o 7 %. Tyto výsledky vykazují ZP s nano vrstvami a všechny OOP bez použití nano textilií.

ZP 1 až 4 po čtyřech hodinách snížily propustnost vodních par v průměru jen o nevýznamných 1,5 %, ovšem po 24 hodinách měření snížení hodnot dosahuje až 13 %. Zajímavým pozorováním je, že vzorky 13 a 14 s nano vrstvami ze skupiny OOP vykazují stejný trend.

5. Diskuze výsledků

Dosažené výsledky diplomové práce odpovídají stanoveným cílům.

Byly hodnocené vybrané užité vlastnosti pro různé typy obličejových masek.

V laboratorních podmínkách byla provedena simulace užívání ochranných prostředků dýchacích cest (vliv teploty a vlhkosti).

Byl hodnocen vliv teploty a vlhkosti na prodyšnost, prodýchatelnost a propustnost vodních par u skupiny různých typů ochranných obličejových masek.

1. Hodnocení vybraných užitečných vlastností obličejových masek

V rámci této práce byly testované dva typy ochranných obličejových masek pro následné porovnání a hodnocení jejich užitečných vlastností. Do obou skupin byly zařazené také produkty s využitím nano vrstev.

U souboru vybraných obličejových masek byly stanoveny:

- Plošná hmotnost textilních vrstev
- Tloušťka textilních vrstev
- Prodyšnost textilních vrstev
- Prodýchatelnost obličejových masek (odpor proti dýchání)
- Propustnost vodních par přes textilní vrstvy

Porovnáním všech testovaných vlastností bylo prokazatelně potvrzeno, že skupina ZP vykazuje lepší užité vlastnosti – nižší plošná hmotnost, tloušťka vrstev a odpor proti dýchání, a vyšší prodyšnost a propustnost vodních par přes textilní vrstvy. Přehledné srovnání testovaných vlastností znázorňuje tabulka 20, kde testované produkty označené číselně od 1 do 6 pro ZP a od 7 do 14 pro OOP jsou seřazené od nejmenší po největší hodnoty plošné hmotnosti, tloušťky a prodýchatelnosti obličejových masek a od největší po nejmenší hodnoty prodyšnosti a propustnosti vodních par přes textilní vrstvy.

Tabulka 20 - Seřazení obyčejových nasek dle významnosti testovaných vlastností

P. Č	Dle Mp [g/m ²] ↑	Dle tloušťky [mm] ↑	Dle prodyšnosti [mm/s] ↓	Dle prodýchatelnosti [Pa/cm ²] ↑	Dle WVPR [g/m ² ·d] ↓
1	4	4	3	3	3
2	1	1	4	4	5
3	6	3	2	5	4
4	3	6	5	2	6
5	2	5	6	6	2
6	5	2	10	1	1
7	13	9	1	14	13
8	9	13	14	13	8
9	14	12	12	10	7
10	8	8	9	12	9
11	7	7	13	9	11
12	12	11	11	11	12
13	10	14	7	8	10
14	11	10	8	7	14

Nano masky neprokázaly významný vliv na testované užité vlastnosti. Jedině obě nano OOP s číslem 13 a 14 vykazují ve své skupině nejmenší odpor proti dýchání. Bylo také prokázáno, že jediná dětská maska zařazená do skupiny testovaných produktů vykazuje o řadu nejvyšší prodyšnost a propustnost vodních par a nejnižší odpor proti dýchání. Na posledním místě ve skupině ZP dle těchto třech v-stí je umístěna maska 1, přičemž u testu prodyšnosti její hodnota klesla do skupiny OOP.

2. Simulace užívání ochranných prostředků dýchacích cest

Pro následné hodnocení vlivu teploty a vlhkosti na prodyšnost a prodýchatelnost obličejových masek byla navržena simulace užívání v laboratorních podmínkách. Testované vzorky byly vystaveny vlivu teploty a vlhkosti v klimatizované komoře. Pro přiblížení k parametrům dýchání teplota vzduchu v klimatizované komoře byly nastaveny na normální tělesnou teplotu člověka 37 °C a vlhkost na 95 %, vzhledem k časovým intervalům působení velkého dechu na obličejovou masku.

Pro zhodnocení vlivu teploty a vlhkosti na tyto v-stí masek byly navrženy následující intervaly doby klimatizování vzorku v komoře:

- 1 hodina
- 4 hodiny (doporučena doba užívání masek)
- 24 hodiny (vzhledem ke zvyšování doporučené doby výrobcem)

Takto navržené intervaly působení teploty a vlhkosti na vzorky se následně ukázali jako velmi výhodní pro hodnocení vlivu propustnosti vodních par přes textilní vrstvy. Pro tuto vlastnost, vzhledem ke specifikace měření, teplota a vlhkost působí na vzorky v procesu měření. Přístroj pro měření propustností vodních par byl nastaven na teplotu vzduchu srovnatelnou s teplotou v klimatizované komoře - 37 °C, a vlhkost dle pokynu normy bylo možné nastavit na 50 %. Měření probíhalo 24 hod a výsledky měření jsou zaznamenané po každé hodině. Tak vliv teploty a vlhkosti na propustnost vodních par bylo možné hodnotit ve stejných časových intervalech jako vliv na prodyšnost a prodýchatelnost. Po analýze výsledku měření propustností vodních par pokles hodnot se projevoval buď hned po první hodině anebo právě po čtvrté hodině měření.

3. Hodnocení vlivu teploty a vlhkosti na prodyšnost, prodýchatelnost a propustnost vodních par přes textilní vrstvy

Prodyšnost textilních vrstev. Bylo prokázáno, že vlivem teploty a vlhkosti prodyšnost textilních vrstev se mírně zvyšuje u produktu OOP a to do 5 % po 24 hod. simulace nošení. Dvě nano masky v této skupině prokázaly naprosto odlišný trend. Nano maska č. 13 po kolísavém trendu ve výsledku neprokázala žádný vliv teploty a vlhkosti na její prodyšnost a nano maska č. 14 v průběhu pomyslného nošení prokazuje zvýšení prodyšnosti o 5 % a to už po čtyřech hodinách působení teploty a vlhkosti. Zajímavým zjištěním je, že po 24 hod. se prodyšnost masky už nezvyšuje.

Procentuální přírůstek prodyšnosti u ZP se pohybuje v rozmezí od 5 % až do 11 % po 24 hodinách nošení. Dětskou masku č. 3 s navýšením prodyšnosti do 5 % lze zařadit v tomto hodnocení vlivu teploty a vlhkosti na prodyšnost do skupiny OOP. Ostatní ZP přesahují 5 % -ni barier už po 4 hod. nošení.

Prodýchatelnost obličejových masek. Odpor proti dýchání neboli prodýchatelnost masek je normovanou veličinou a určuje spolu s hodnotou účinnosti masek jejich třídu.

Vliv teploty a vlhkosti na prodýchatelnost masek nelze po vyhodnocení jednoznačně rozdělit na dvě původní skupiny. Ze všech testovaných produktů lze vyčlenit nano masku č. 13 která už po čtyřech hodinách pomyslného nošení klade větší odpor proti dýchání a to o 8 %, a dětskou masku č. 3 se zvýšením odporu po 24 hod. nošení až o 11 %. Lze tvrdit, že dítě předškolního věku, pro které je určena testovaná maska, nikdy nebude používat tento výrobek tak dlouhou dobu, proto tuto masku s neznácnou změnou prodyšnosti do 4 % po čtyřech hodinách nošení můžeme zařadit do zbylé skupiny pro vyhodnocení vlivu nošení na prodýchatelnost masek. Vzhledem k výše popsaným úvahám a výsledkům testování lze konstatovat, že pro všechny testované produkty (vyjma nano masku č. 13) působení teploty a vlhkosti nemají významný vliv na prodýchatelnost masek. Změny prodyšnosti v průběhu nošení se pohybují v intervalu od -2 % do maximálně 5 %. Větší polovina testovaných produktů vykazuje dokonce statisticky nevýznamný kolísavý trend změny hodnot v intervalu od -2,5 % do +2,5 %.

Propustnost vodních par přes textilní vrstvy. Vyhodnocení vlivu teploty a vlhkosti na propustnost vodních par přes textilní vrstvy rozdělilo skupinu testovaných produktů na dva typy.

U všech ZP a nano OP je sledován pokles hodnot propustnosti vodních par ihned po první hodině testování, přičemž po čtvrté hodině ZP vykazují pokles v průměru o 1,5 % a nano OOP o 4 %. Po 24 hod. testování (vlivu teploty a vlhkosti) pokles hodnot propustnosti vodních par dosahuje až 15 %, přičemž výrazně nejvyšší zhoršení propustnosti vykazují právě obě nano OP.

Do druhého typu se řadí všechny OOP a nano ZP, kde po vyhodnocení lze sledovat nárůst propustností vodních par přibližně do čtvrté hodiny vlivu teploty a vlhkosti a až následně pokles hodnot. Vzhledem ke zvýšení propustnosti vodních par do přibližně čtvrté hodiny testování v průměru o 5 %, následný pokles hodnot dosahuje jen 7 %.

Z výše popsaných výsledků testování vlivu teploty a vlhkosti na propustnost vodních par přes textilní vrstvy použité pro výrobu obličejových masek lze vyvodit následující výsledky:

- ZP a nano OOP po 4 hod. nošení prokazují nevýznamný pokles hodnot propustnosti vodních par do 4 % a následně jejich schopnost propouštět vodní páry se postupně snižuje až do 15 %.

- OOP a nano ZP vzhledem ke zvýšení propustností vodních par do čtvrté hodiny testování prokazují následně pokles hodnot vůči první hodině až po 8 až 12 hodině pomyslného nošení.

Zajímavým zjištěním je, že použitím nano vrstev u ZP trend vlivu teploty a vlhkosti na propustnost vodních par je stejný jako u OOP, a opačně – nano OOP se řadí do skupiny ZP ve výsledku tohoto testu. Toto zjištění vybízí na případnému dalšímu zkoumání zmíněného jevu. Použití nano vrstev zlepšuje schopnost ZP propouštět vodní páry a nano vrstvy u OOP tuto schopnost zhoršují v průběhu 4 hodin testování.

6. Závěr

Cílem předložené diplomové práce byla analýza vlivu teploty a vlhkosti na vybrané vlastnosti ochranných obličejových masek.

V teoretické části byl realizován průzkum trhu obličejových masek a rozdělení nabízených produktů dle jejich specifikací do příslušných normovaných typů. Dále byly uvedené možnosti hodnocení obličejových masek a specifikované jejich důležité užitné a funkční vlastnosti.

Praktická část byla zaměřena na stanovení prodyšnosti, prodýchatelnosti a propustnosti vodních par přes textilní vrstvy masek a zhodnocení vlivu teploty a vlhkosti na tyto vlastnosti.

Z výsledků této práce byly stanovené následující závěry:

- Během použití masek se jejich prodyšnost postupně zvyšuje vlivem vlhkého dechu. Zvýšení prodyšnosti u OOP je méně významně a dosahuje max. 5 % za dobu (24 hod.). ZP vykazují větší nárůst prodyšnosti, a to od 5 až do 11 % za tuto dobu
- Nošení masek v průběhu až 24 hod neprokazují výrazný vliv na odpor proti dýchání. Pouze jediná nano OOP má odpor proti dýchání až o 8 % vyšší a to už po čtyřech hodinách působením teploty a vlhkosti
- Vlivem teploty a vlhkosti se propustnost vodních par významně snižuje po čtyřech hodinách nošení ZP a nano OOP. OOP a nano ZP vykazují výrazné snížení propustnosti vodních par přibližně po osmi hodinách nošení
- ZP jsou lepe prodyšné, projevují menší odpor proti dýchání a vyšší propustnost vodních par oproti OOP. Změna těchto vlastností působením teploty a vlhkosti nastává rychleji rovněž u ZP než u OOP. Z tohoto důvodu lze doporučit dvouhodinovou dobu použití ZP a čtyřhodinovou pro OOP
- Nanovláknenné obličejové masky změní své vlastnosti vlivem teploty a vlhkosti přibližně stejným způsobem a za stejnou dobu jako ostatní testované produkty

Bibliografie

1. ČESKO. MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBCHODU. *MPO: Průvodce základy regulace obličejových masek, jakožto osobních ochranných prostředků a zdravotnických prostředků* [online]. Odbor komunikace, 2021-1-21 [cit. 2022-09-08]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/rozcestnik/pro-media/tiskove-zpravy/co-je-treba-splnovat-pri-uvadeni-rousek-a-respiratoru-na-trh--poradi-pruvodce--259078/>
2. ČESKÁ AGENTURA PRO STANDARDIZACI. *ČAS: Harmonizované normy* [online]. ČAS [cit. 2022-09-08]. Dostupné z: <https://www.agentura-cas.cz/standardizace/uzivani-norem/harmonizovane-normy/>
3. Freeman, C., BURCH, R., BLACK, C., et al. *Filtration efficiency and differential pressure of fabrics used in non-medical masks based on SARS COVID-19 particle size*. Textile Research Journal, 2022;92(17-18):3234-3242..
4. ČSN EN 149+A1. *Ochranné prostředky dýchacích orgánů – Filtrační polomasky k ochraně proti částicím – Požadavky, zkoušení a značení*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
5. ČSN EN 14683+AC. *Zdravotnické obličejové masky - Požadavky a metody zkoušení*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2020.
6. WORLD HEALTH ORGANIZATION. *WHO: Coronavirus disease (COVID-19) pandemic* [online]. WHO, 2020 [cit. 2022-10-25]. Dostupné z: <https://www.who.int/europe/emergencies/situations/covid-19>
7. BALERINA. Interaktivní objednavkový katalog. *Balerina.cz* [online] [cit. 2022-11-17]. Dostupné z: <https://www.balerina.cz/>
8. RESPILON. Příběh. *Respilon.cz* [online]. [cit. 2022-10-26]. Dostupné z: <https://www.respilon.com/about/#anchor-csr>
9. WORLD HEALTH ORGANIZATION. *WHO: Infection prevention and control in the context of coronavirus disease (Covid-19): A living guideline 7* [online]. WHO, 2022-03-07. Ed. II. [cit. 2022-10-5]. Dostupné z: <https://www.who.int/publications/i/item/WHO-2019-nCoV-ipc-guideline-2022.1>

10. IVANOVSKA-DACIKJ, Alexandra end Ursula STACHEWICZ. *Smart textiles and wearable technologies - opportunites offered in the fight against pandemics in relation to current COVID-19 state*. Review on Advanced Materials Science, 2020; 59:487-505.
11. IMURA, Y., H. RMC a M. JAFFE. *Advances in filament yarn spinning of textiles and polymers*. Woodhead Publishing, 2014. ISBN 978-0-85709-499-5.
12. RŮŽIČKOVÁ, Jana. *Elektrostatické zvláknování nanovláken*. Liberec : Technická univerzita, 2006. ISBN 80-7372-066-3.
13. MLADÁ FRONTA DNES. *Stojí stejně. Každá druhá maska však chrání jen naoko* [online]. MDF [editor] Magdalena Nová. Test nanorespirátorů a nanoroušek, 2021-03-24. [cit. 2022-10-26]. Dostupné z: <https://nanomon.cz/wp-content/uploads/2021/03/MD-DNES-testy.pdf>
14. ČSN EN ISO 9237. *Textilie - Zjišťování prodyšnosti plošných textilií*. Praha: Český normalizační institut, 1996
15. JIS L 1099. *Zkušební metody pro propustnost vodních par textilií*. Japonská asociace pro standardy (JSA), 2021

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Filtrační polomaska. Zdroj: www.opharm.com	12
Obrázek 2 - Zdravotnická obličejová maska. Zdroj: www. opharm.com.....	12
Obrázek 3 - Obousměrná ochrana. Zdroj: www.respilon.com	13
Obrázek 4 - Barevné varianty obličejových masek. Zdroje: www.opharm.com a www.coolagency.cz	16
Obrázek 5 - Náhled vzorů obličejových masek. Zdroj: www.balerina.cz	16
Obrázek 6 - Princip dvojité bariéry. Zdroj: www.respilon.com	17
Obrázek 7 - Nákrčník. Zdroj: www.respilon.com	17
Obrázek 8 - Filtrační polomaska „fish-type“. Zdroj: www.respilon.com.....	17
Obrázek 9 - Dětská obličejová maska pro veřejnost. Zdroj: www.promedor24.com.....	17
Obrázek 10 – Doporučené vrstvy pro nezdravotnické látkové masky (9).....	18
Obrázek 11 - Sheffieldská zkušební hlava (4)	20
Obrázek 12 - Schéma typických 3 vrstev v OOP a ZP (10)	22
Obrázek 13 - NT Meltblown (12)	24
Obrázek 14 - Nanovláknenná membrána (12)	24
Obrázek 15 - Laboratorní váha HOKA.....	29
Obrázek 16 - Vzorky pro experiment	29
Obrázek 17 - Tloušťkoměr SDL M 034A.....	29
Obrázek 18 - Působení teploty a vlhkosti na vzorky v klimatizované komoře.....	30
Obrázek 19 – SDL M 021 S – přístroj pro měření prodyšnosti textilií.....	31
Obrázek 20 - Vzorky pro měření prodýchatelnosti masek	32
Obrázek 21 - MDO-25 - přístroj pro měření prodýchatelnosti masek.....	32
Obrázek 22 - Textest FX 3180 CupMaster – zařízení pro měření propustnosti vodních par	33
Obrázek 23- Graf porovnání plošné hmotnosti všech vrstev jednotlivých produktů	35
Obrázek 24 - Graf rozdělení plošné hmotností dle počtu vrstev vzorků	35
Obrázek 25 – Graf porovnání tloušťky vzorků.....	37
Obrázek 26 - Graf závislosti tloušťky na plošné hmotnosti vrstev NT	37
Obrázek 27 - Porovnávací graf prodyšnosti textilních vrstev.....	40
Obrázek 28 - Graf vývoje prodyšnosti po vlivu teploty a vlhkosti pro masky 1-3... 42	
Obrázek 29 - Graf vývoje prodyšnosti po vlivu teploty a vlhkosti pro masky 4-6..... 42	
Obrázek 30 - Graf vývoje prodyšnosti po vlivu teploty a vlhkosti pro masky 7 a 8 ... 42	

Obrázek 31 - Graf vývoje prodyšnosti po vlivu teploty a vlhkosti pro masky 9 a 10	42
Obrázek 32 - Graf vývoje prodyšnosti po vlivu teploty a vlhkosti pro masky 11 a 12	42
Obrázek 33 - Graf vývoje prodyšnosti po vlivu teploty a vlhkosti pro masky 13 a 14 ..	42
Obrázek 34 - Porovnávací graf prodýchatelnosti textilních vrstev.....	45
Obrázek 35 - Náhled sloupcových grafů prodýchatelnosti a prodyšnosti pro názorné porovnání	46
Obrázek 36 - Graf vývoje prodýchatelnosti po vlivu teploty a vlhkosti pro masky 1-3.	49
Obrázek 37 - Graf vývoje prodýchatelnosti po vlivu teploty a vlhkosti pro masky 4-6.	49
Obrázek 38 - Graf vývoje prodýchatelnosti po vlivu teploty a vlhkosti pro masky 7 a 8	49
Obrázek 39 - Graf vývoje prodýchatelnosti po vlivu teploty a vlhkosti pro masky 9 a 10	49
Obrázek 40 - Graf vývoje prodýchatelnosti po vlivu teploty a vlhkosti pro masky 11 a 12	49
Obrázek 41 - Graf vývoje prodýchatelnosti po vlivu teploty a vlhkosti pro masky 12 a 13	49
Obrázek 42 - Graf propustnosti vodních par přes textilní vrstvy po 1, 4 a 24 hodinách měření	52
Obrázek 43 - Porovnávací graf propustnosti vodních par.....	54
Obrázek 44 - Výsledné grafy průběhu testů propustnosti vodních par.....	57
Obrázek 45- Změny propustnosti vodních par ve vybraných časových intervalech pro masky 1 až 4	59
Obrázek 46 - Změny propustnosti vodních par ve vybraných časových intervalech pro masky 7 až 12	59
Obrázek 47 - Změny propustnosti vodních par ve vybraných časových intervalech pro masky 5 a 6	59
Obrázek 48 - Změny propustnosti vodních par ve vybraných časových intervalech pro masky 13 a 14	59

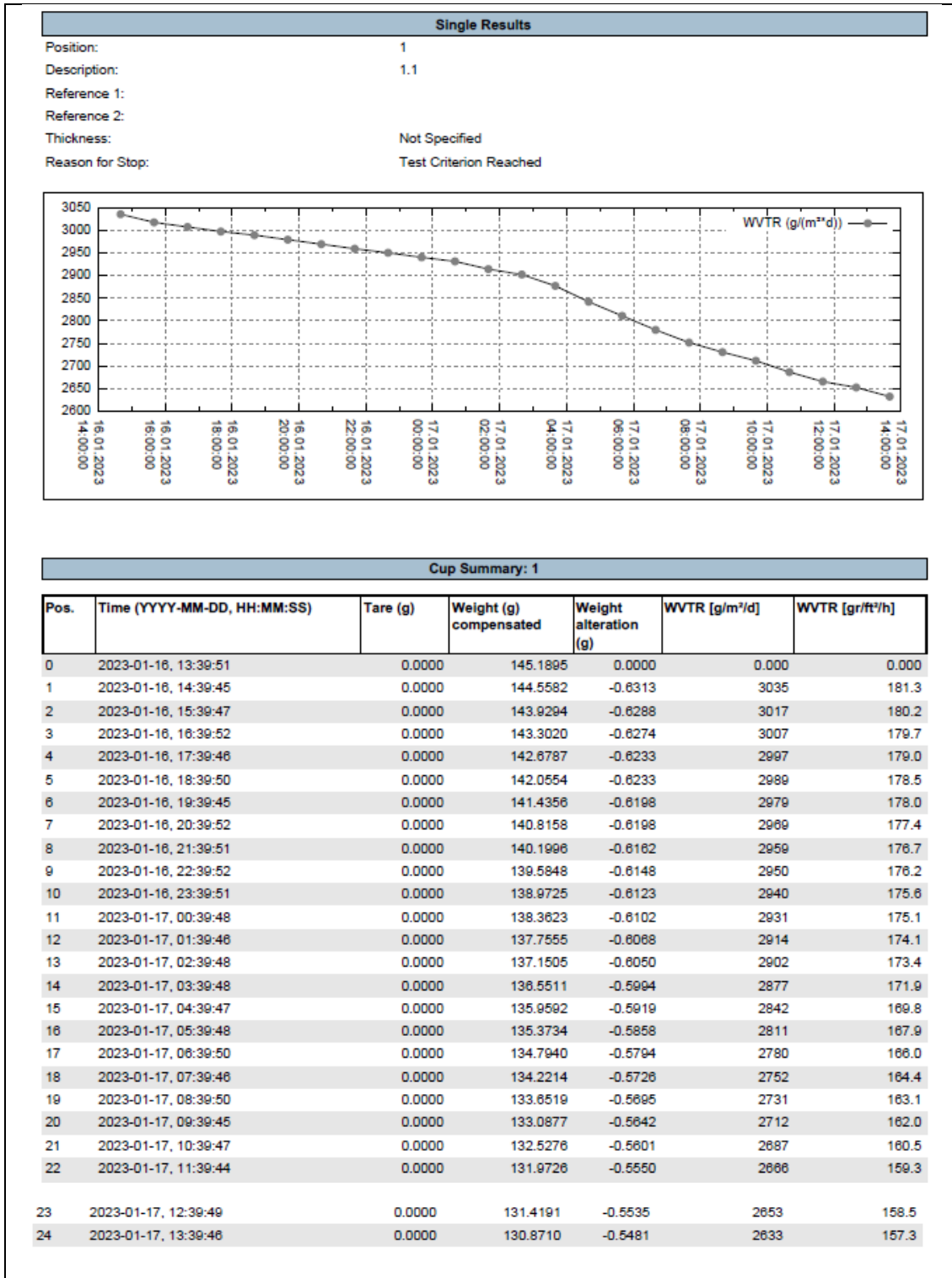
Seznam tabulek

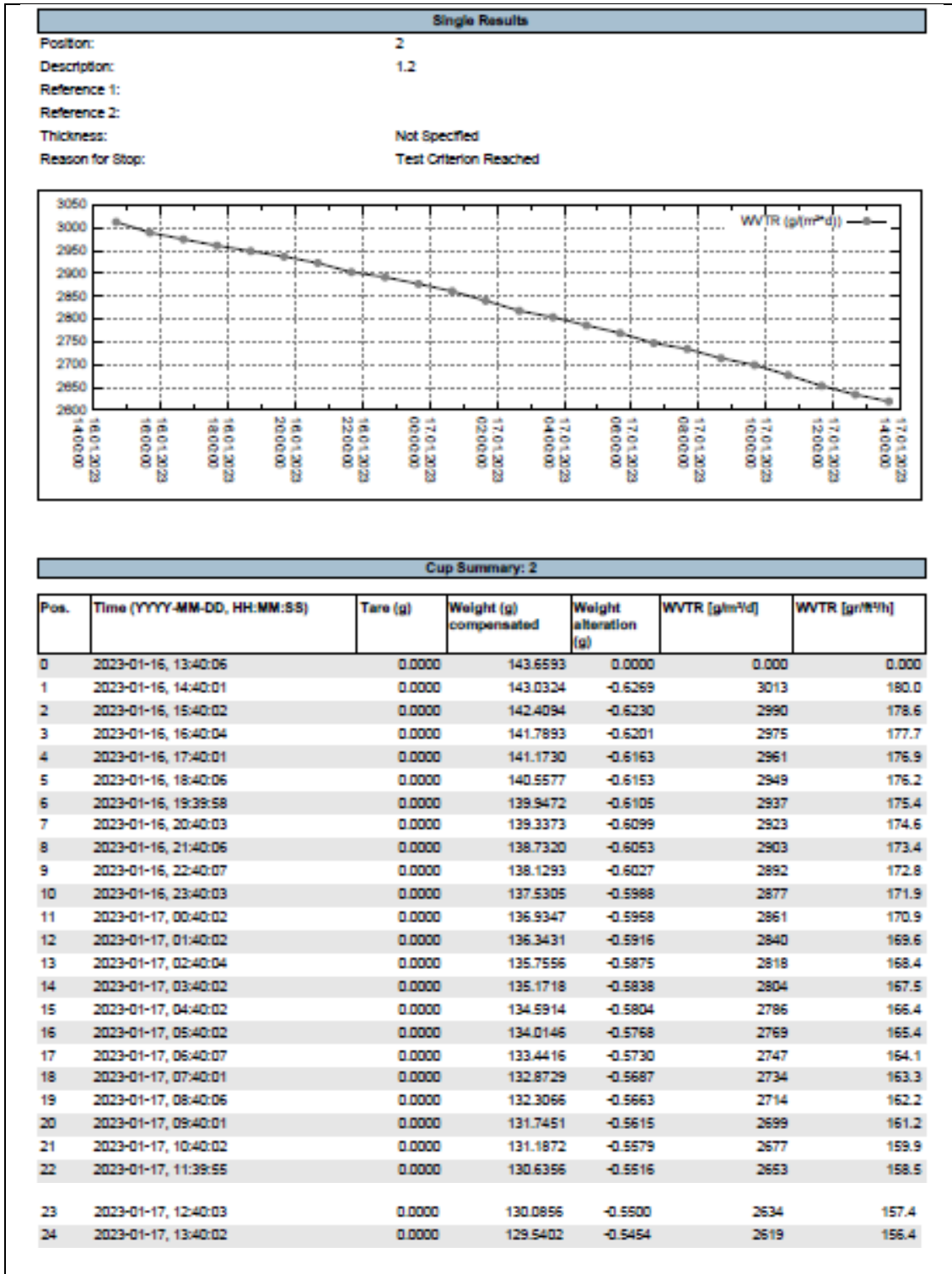
Tabulka 1- Analýza výrobců ZP a OOP	15
Tabulka 2- Průnik filtračním materiálem a dýchací odpor (4).....	19
Tabulka 3 - Požadavky pro zdravotnické obličejové masky (5).....	21
Tabulka 4 - Výsledky testu nanovlákných masek (13)	25
Tabulka 5 - Obličejové masky použité pro experiment	27
Tabulka 6 - Hodnoty plošné hmotností textilních vrstev použitých pro výrobu masek .	34
Tabulka 7 - Hodnoty tloušťky vzorků.....	36
Tabulka 8 - Průtok vzduchu qv [l/min]	38
Tabulka 9 - Vliv teploty a vlhkosti na prodyšnost textilních vrstev	39
Tabulka 10 - Seřazení vzorků dle hodnot prodyšnosti od nejvyšší do nejnižší	40
Tabulka 11- Procentuální přírůstek prodyšnosti po 24-hodinové simulaci nošení	43
Tabulka 12 - Prodýchatelnost masek ΔP [Pa/cm ²]	44
Tabulka 13 - Vliv teploty a vlhkosti na prodýchatelnost textilních vrstev	45
Tabulka 14- Seřazení vzorků dle hodnot prodýchatelnosti od nejnižší do nejvyšší	47
Tabulka 15 - Procentuální změna prodýchatelnosti po 24-hodinové simulaci nošení....	50
Tabulka 16 - Propustnost vodních par WVTR [g/m ² ·d] po 1, 4 a 24 hodinách měření ..	51
Tabulka 17 - Vliv teploty a vlhkosti na propustnost vodních par přes textilní vrstvy....	52
Tabulka 18 - Propustnost vodních par	53
Tabulka 19 - Propustnost vodních par od nejvyšší po nejnižší.....	54
Tabulka 20 - Seřazení obyčejových masek dle významnosti testovaných vlastností	61

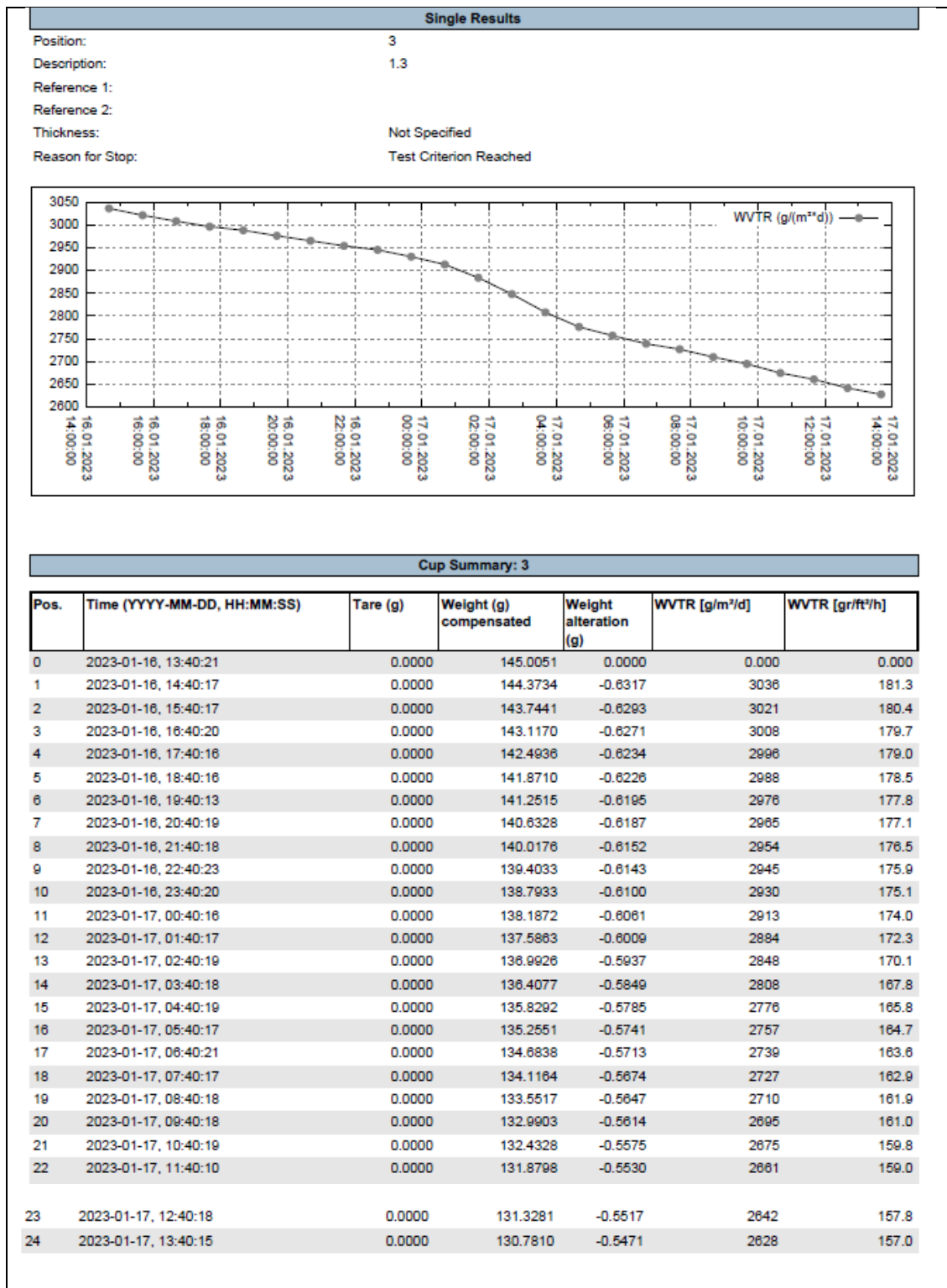
Příloha 1 – Výsledky měření propustnosti vodních par

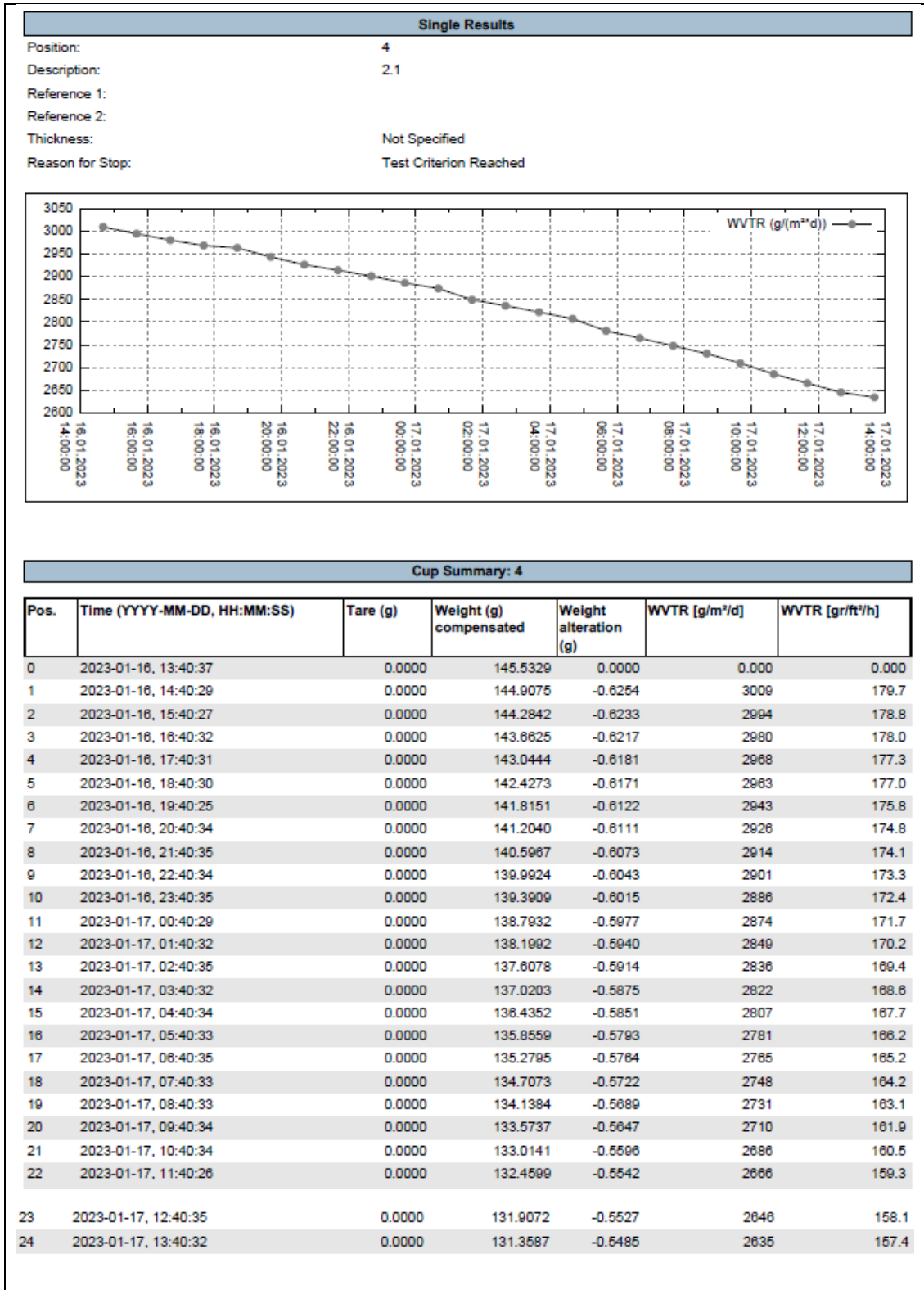
**Water Vapor Transmission Rate Test
Gravimetric Method**

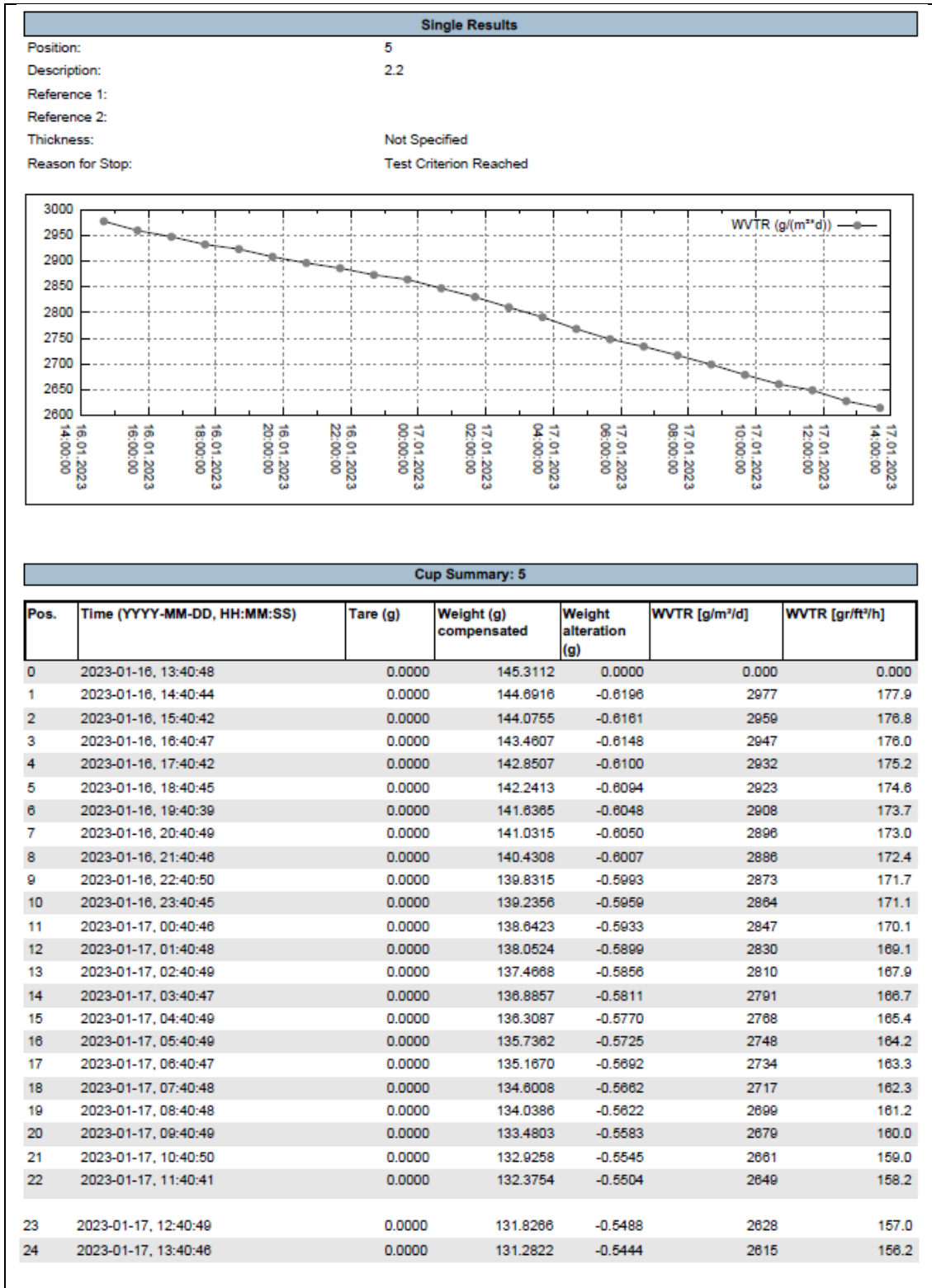
Summary	
Instrument:	TEXTTEST FX 3180 CupMaster
S/N:	112
Project Designation:	SINGLE MODE
Data File:	1.1_37C50RH0.8m-c_S_20230117_133947.xml
Start of Test:	2023-01-16, 13:09:02
End of Test:	2023-01-17, 13:39:47
Test Area:	50.0 cm ²
Number of Samples:	One Single Cup
Test Principle:	Wetcup
Inverted Cup:	No
C-Cup:	Not possible in single mode
Weighing interval:	1 hour(s)
Conditioning:	0.5 hour(s)
Termination Criterion:	Number of Tests
Number of Tests:	24
Temperature:	37.0 °C
Humidity:	50.0 % r.F.
Air Velocity:	0.8 m/s

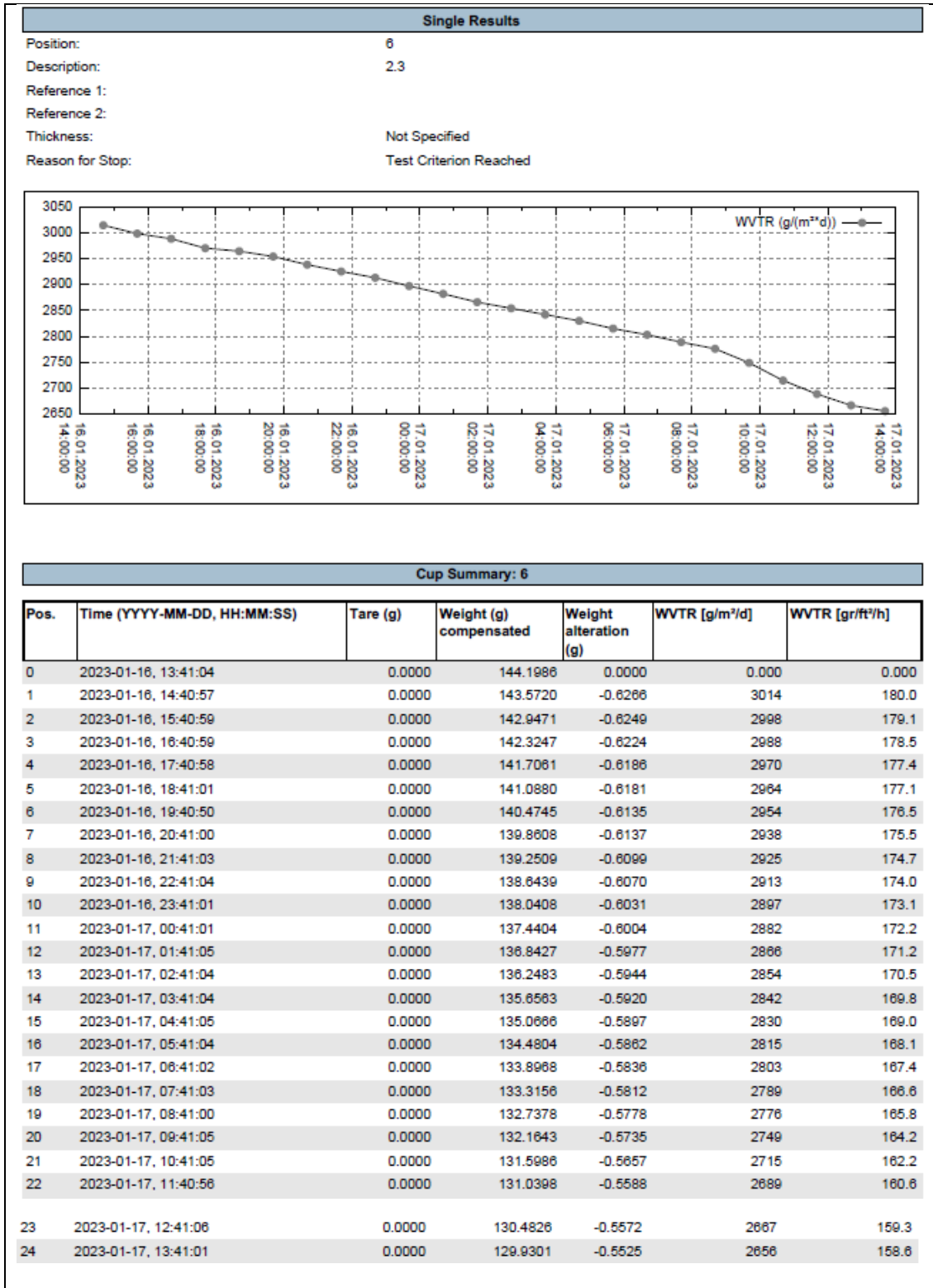


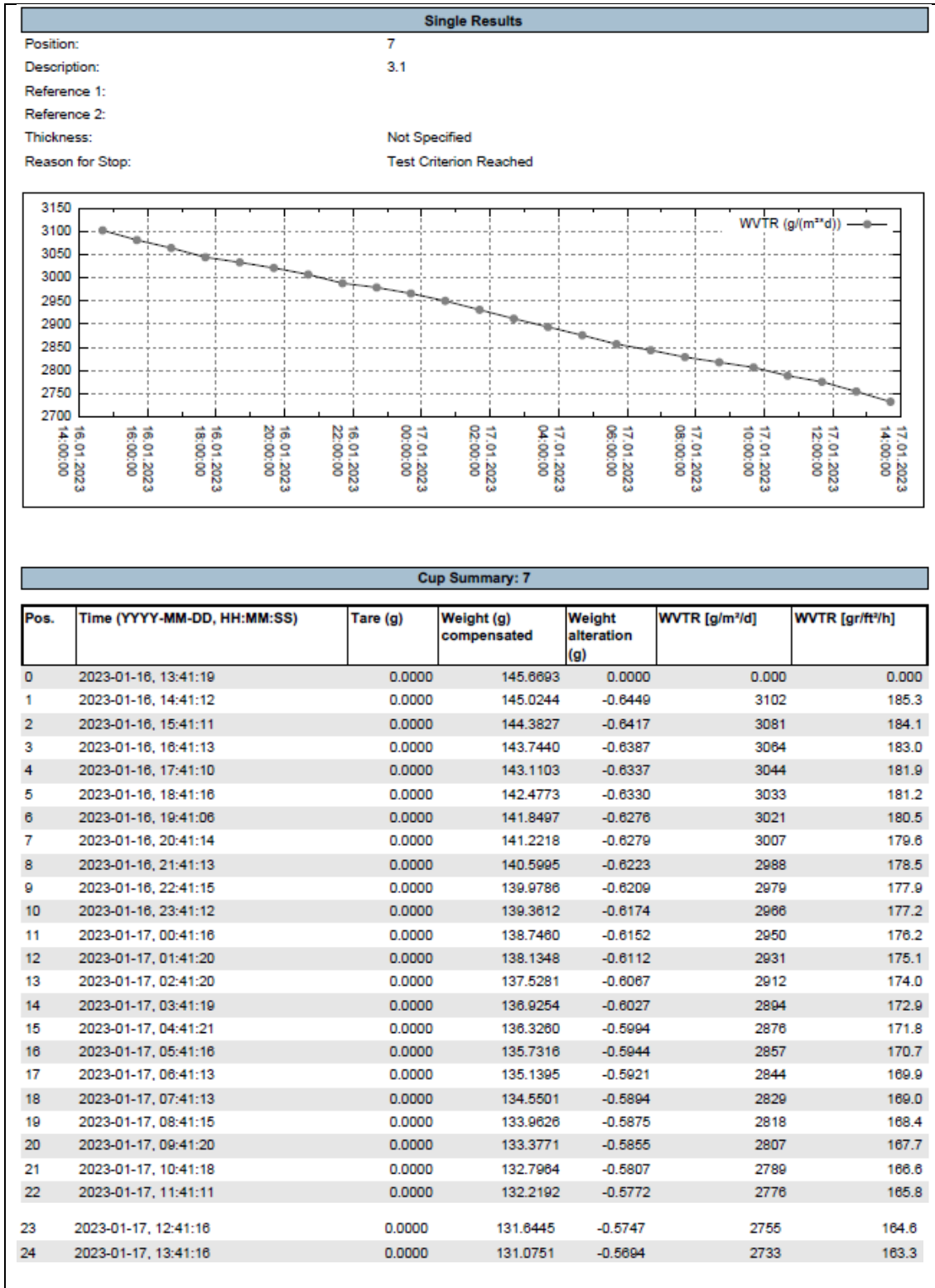


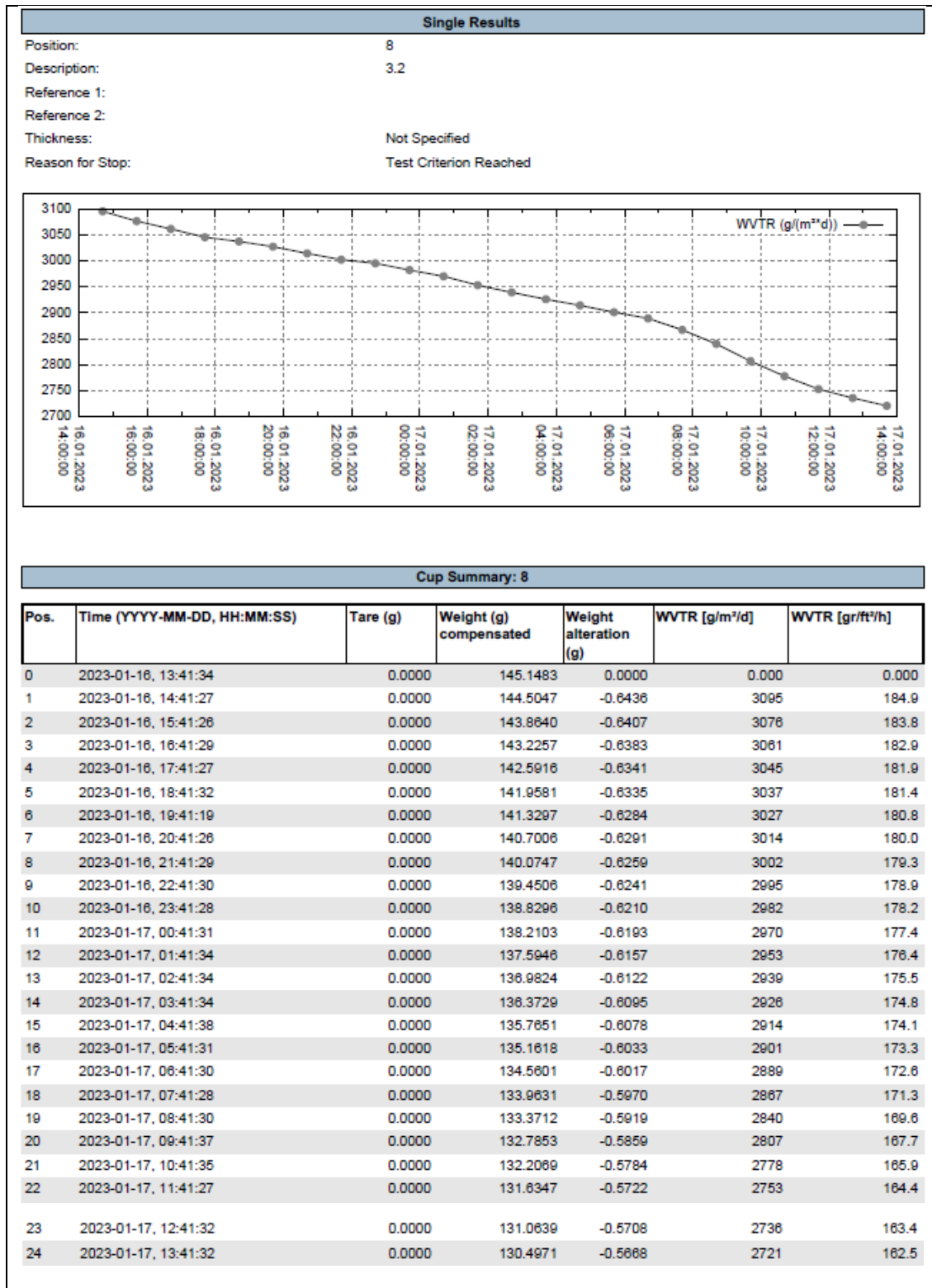


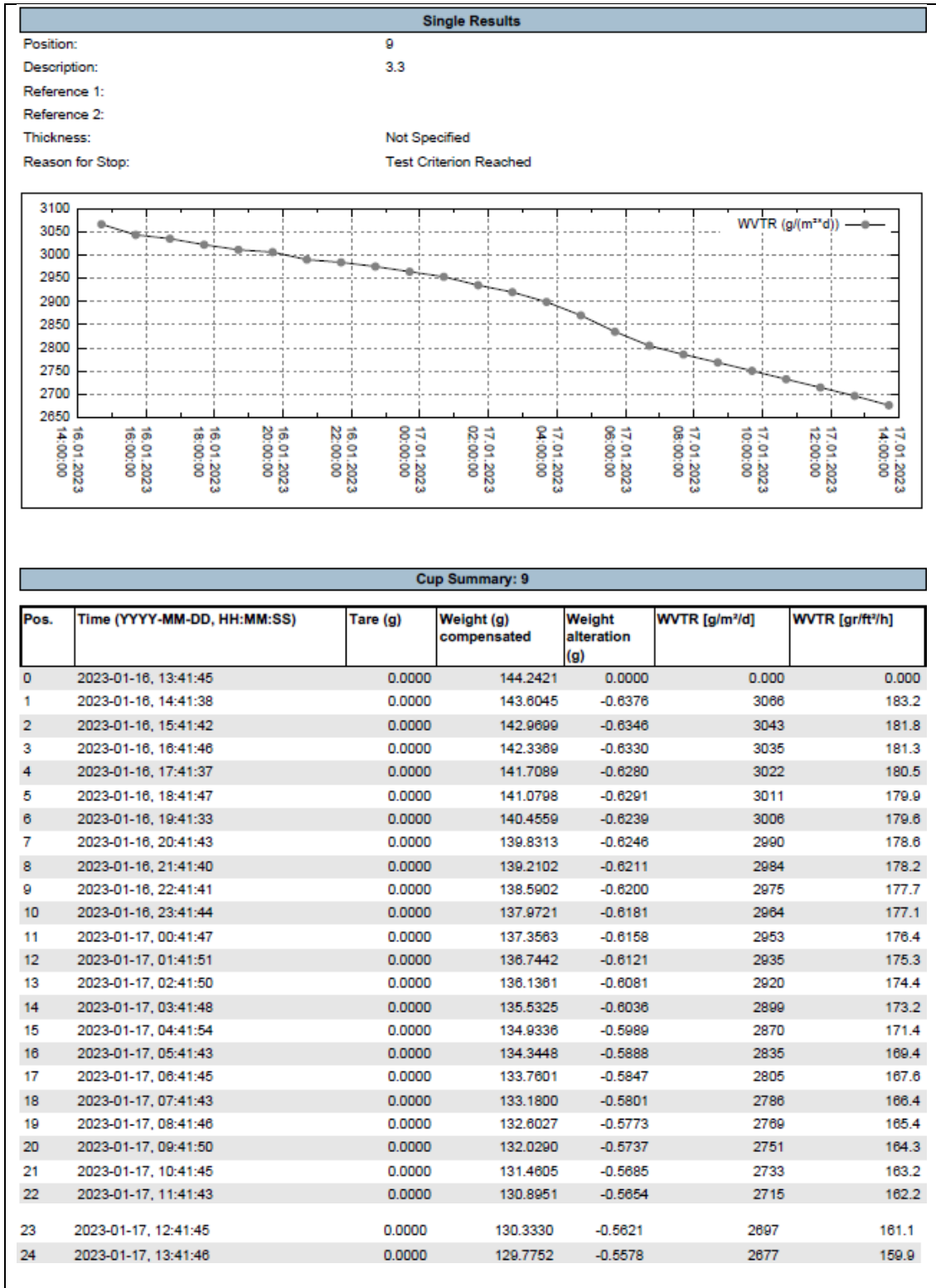


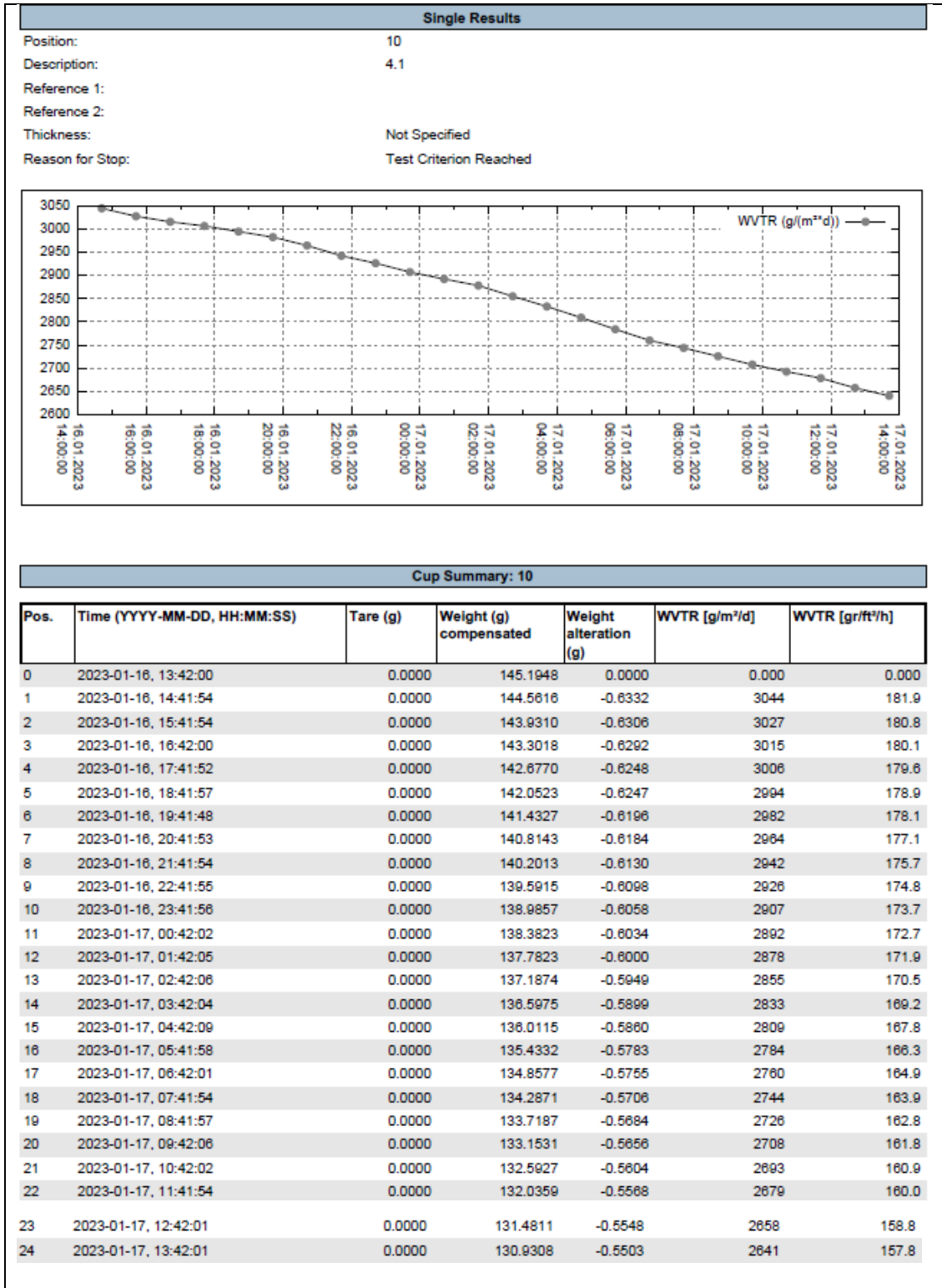


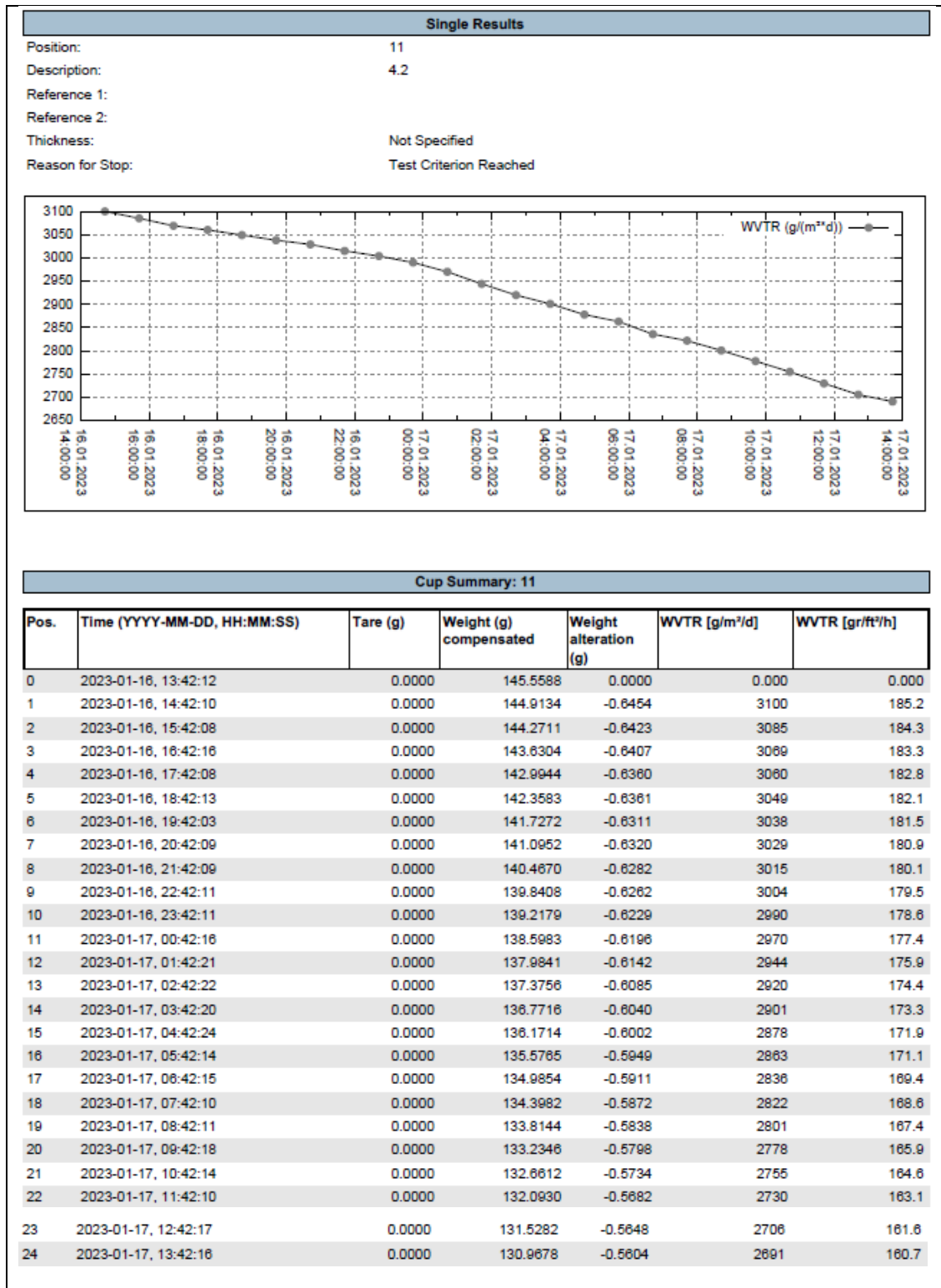


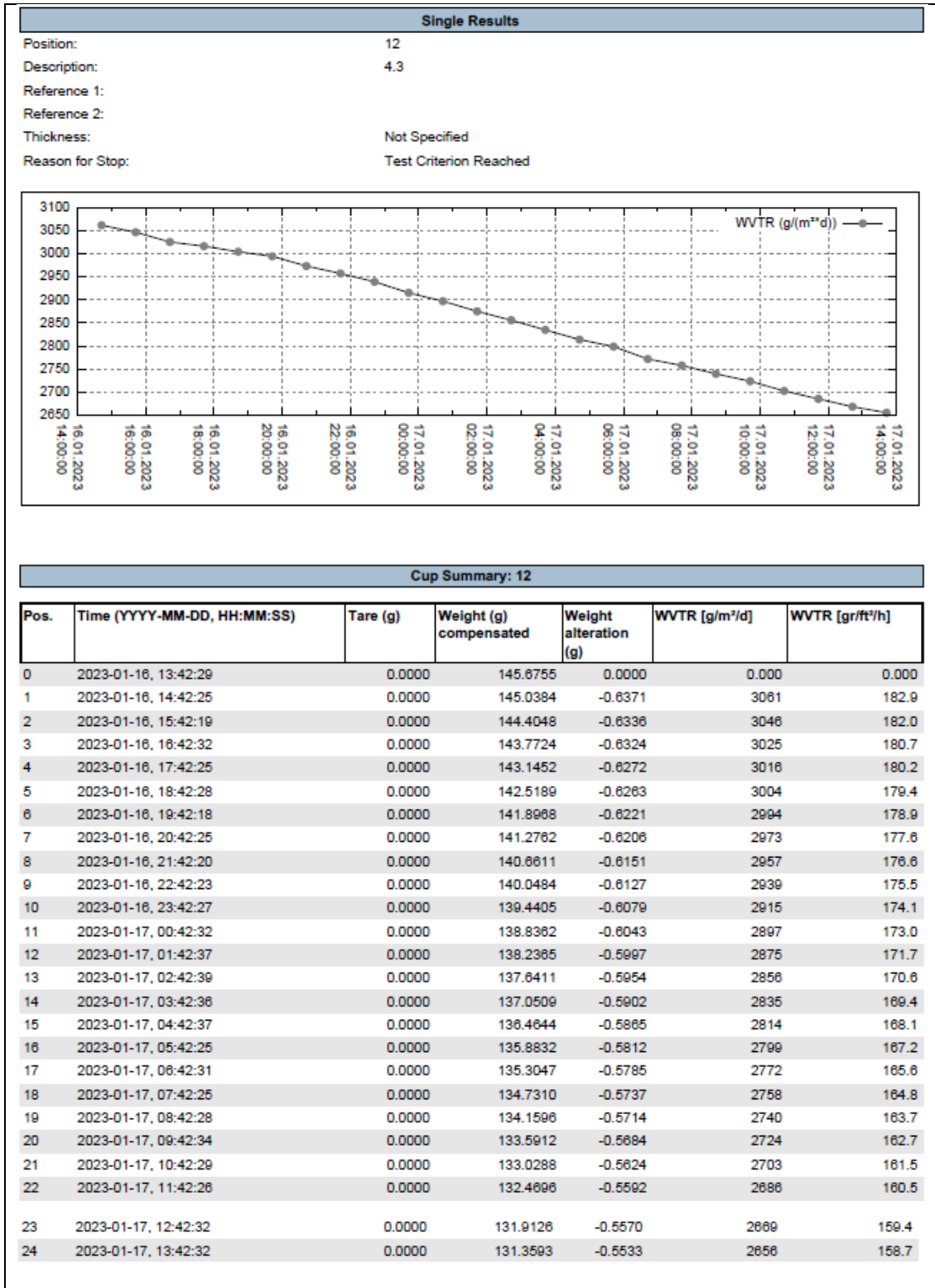


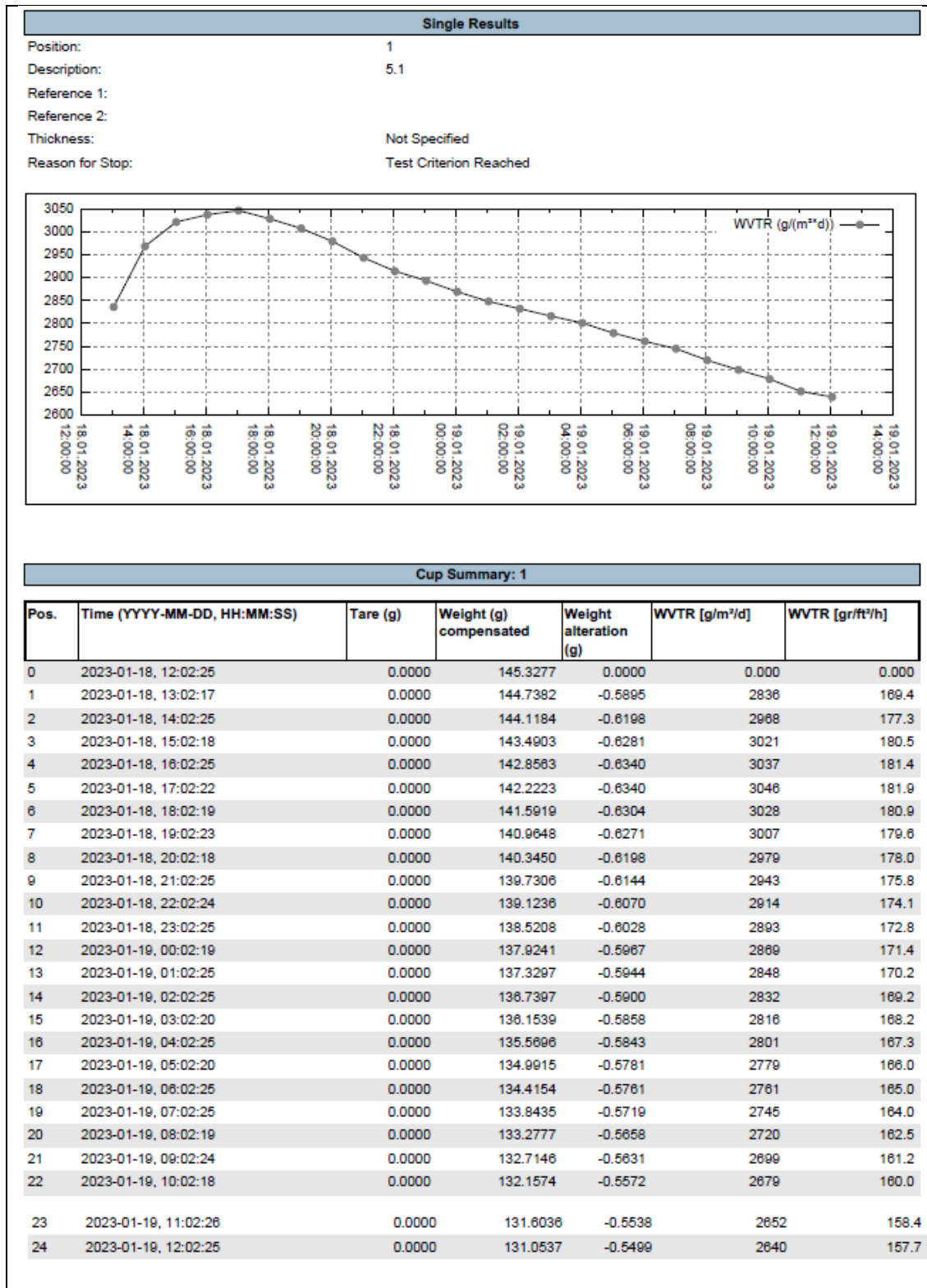


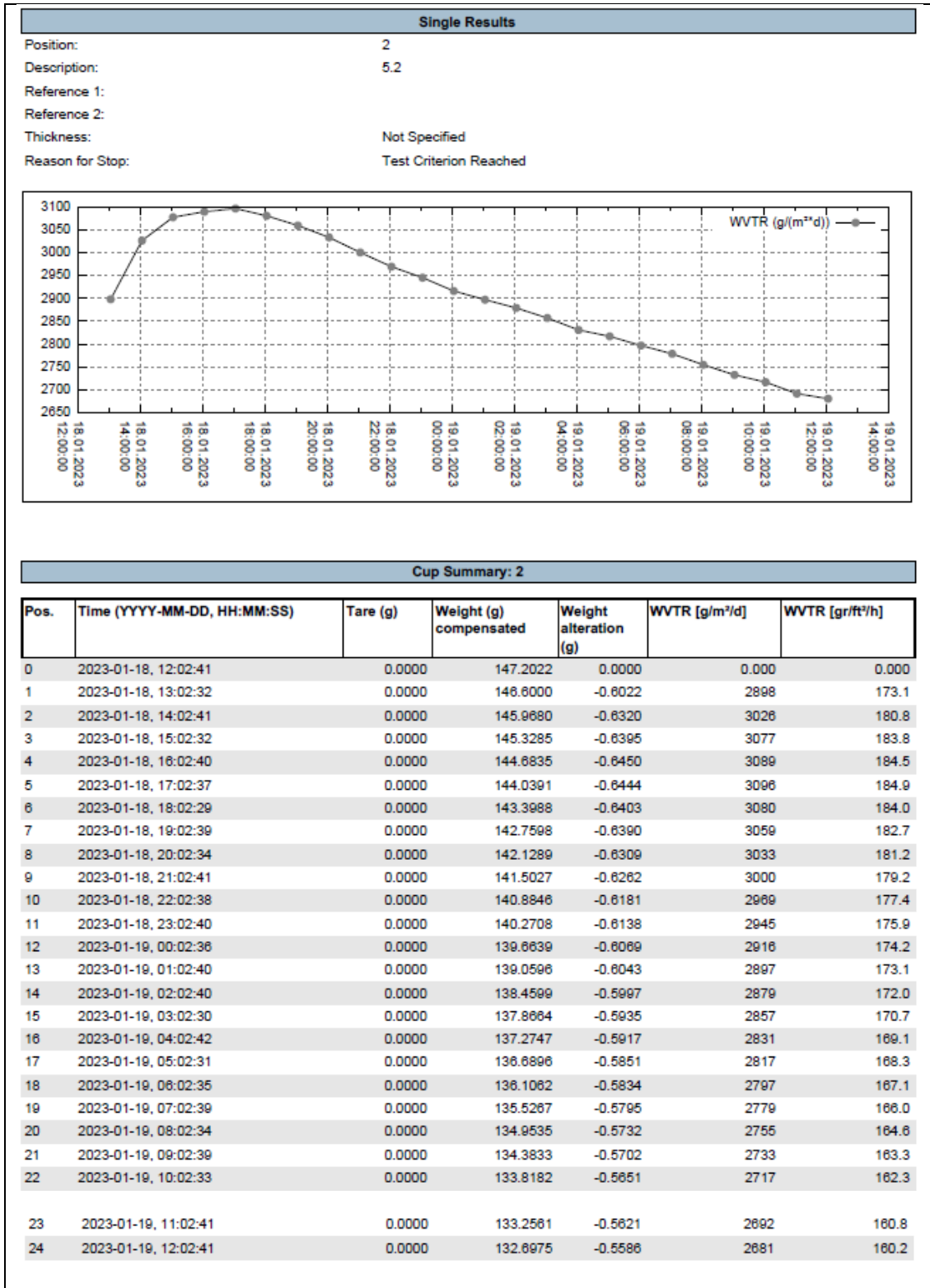


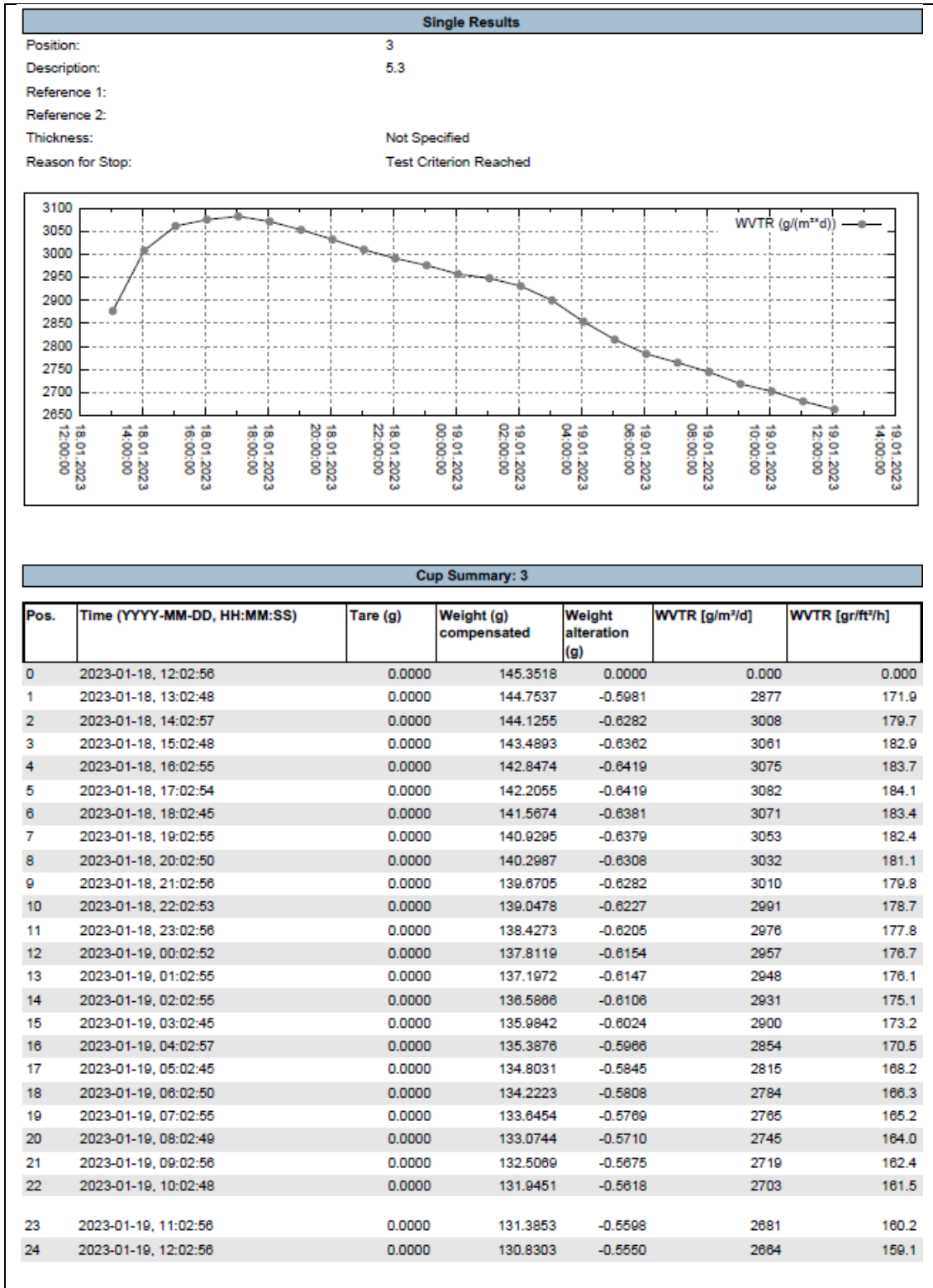


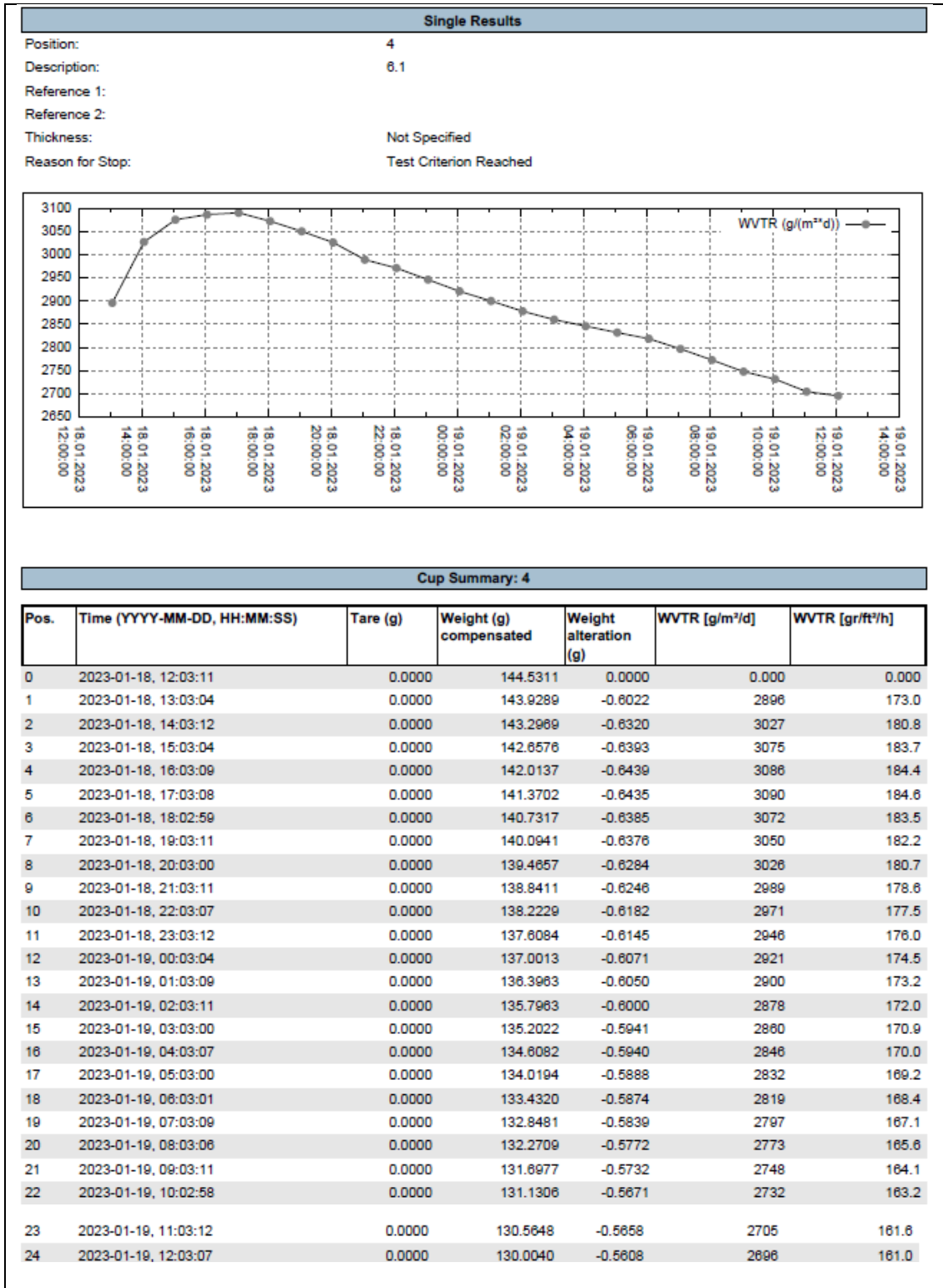


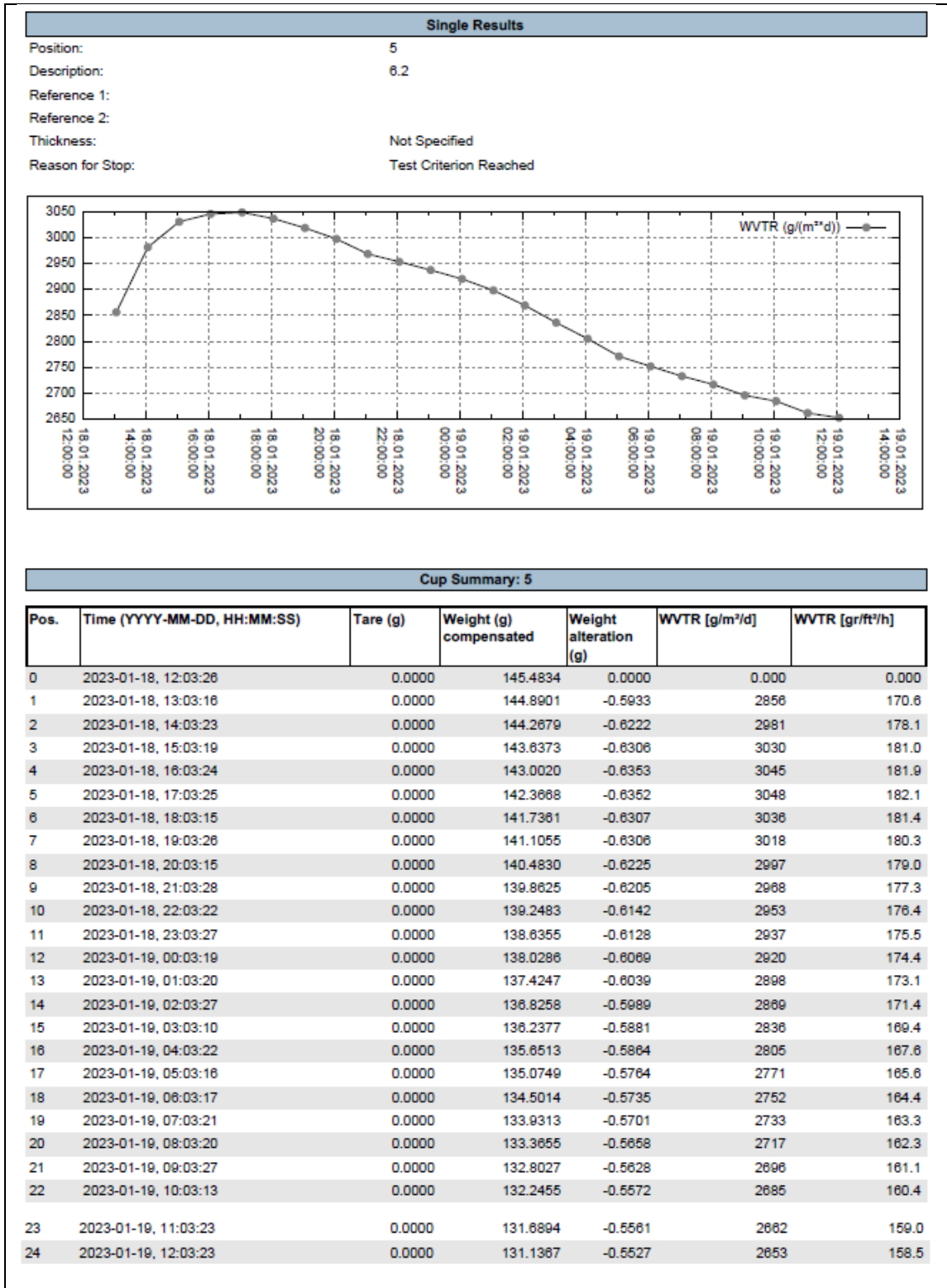


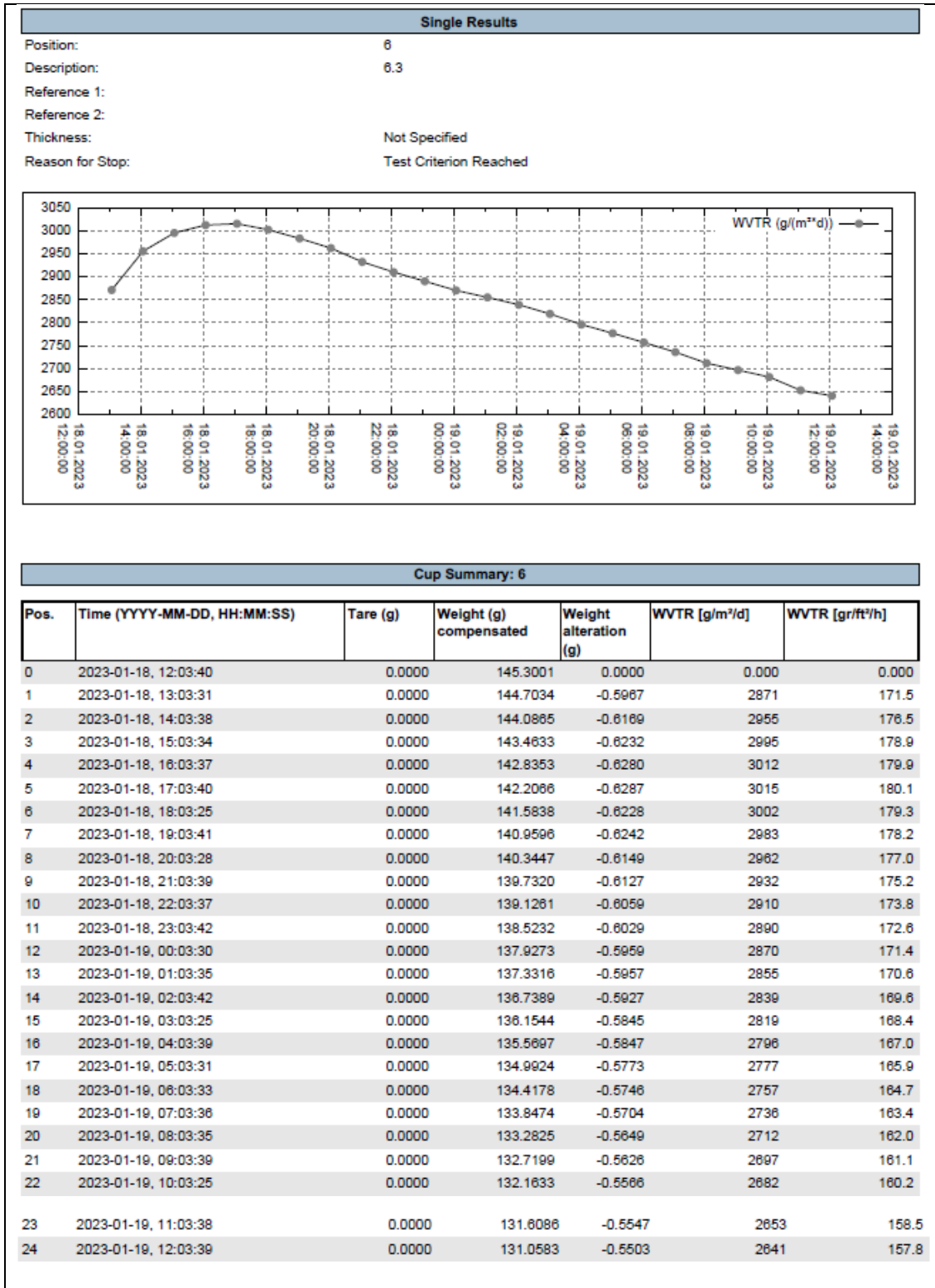


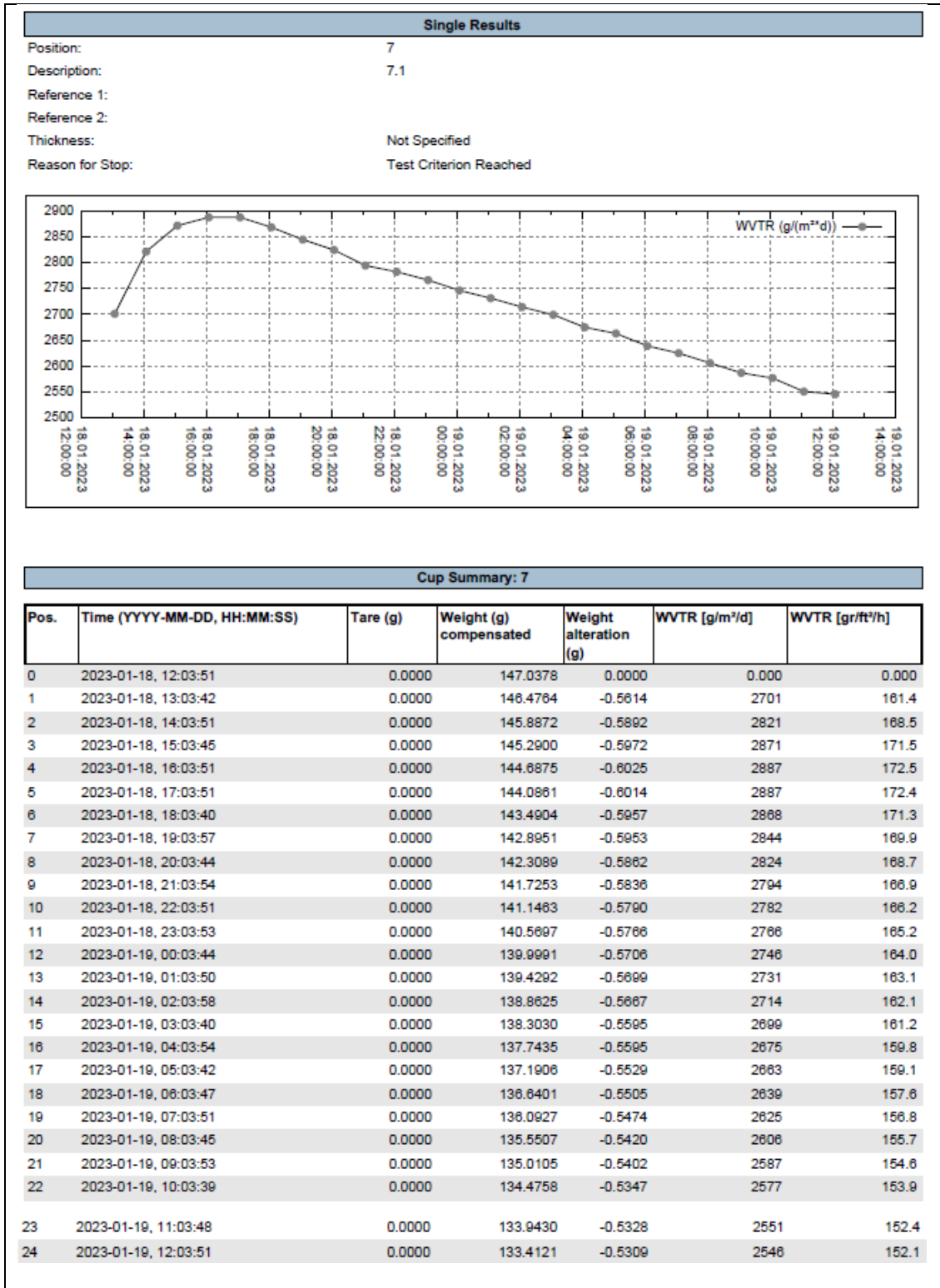


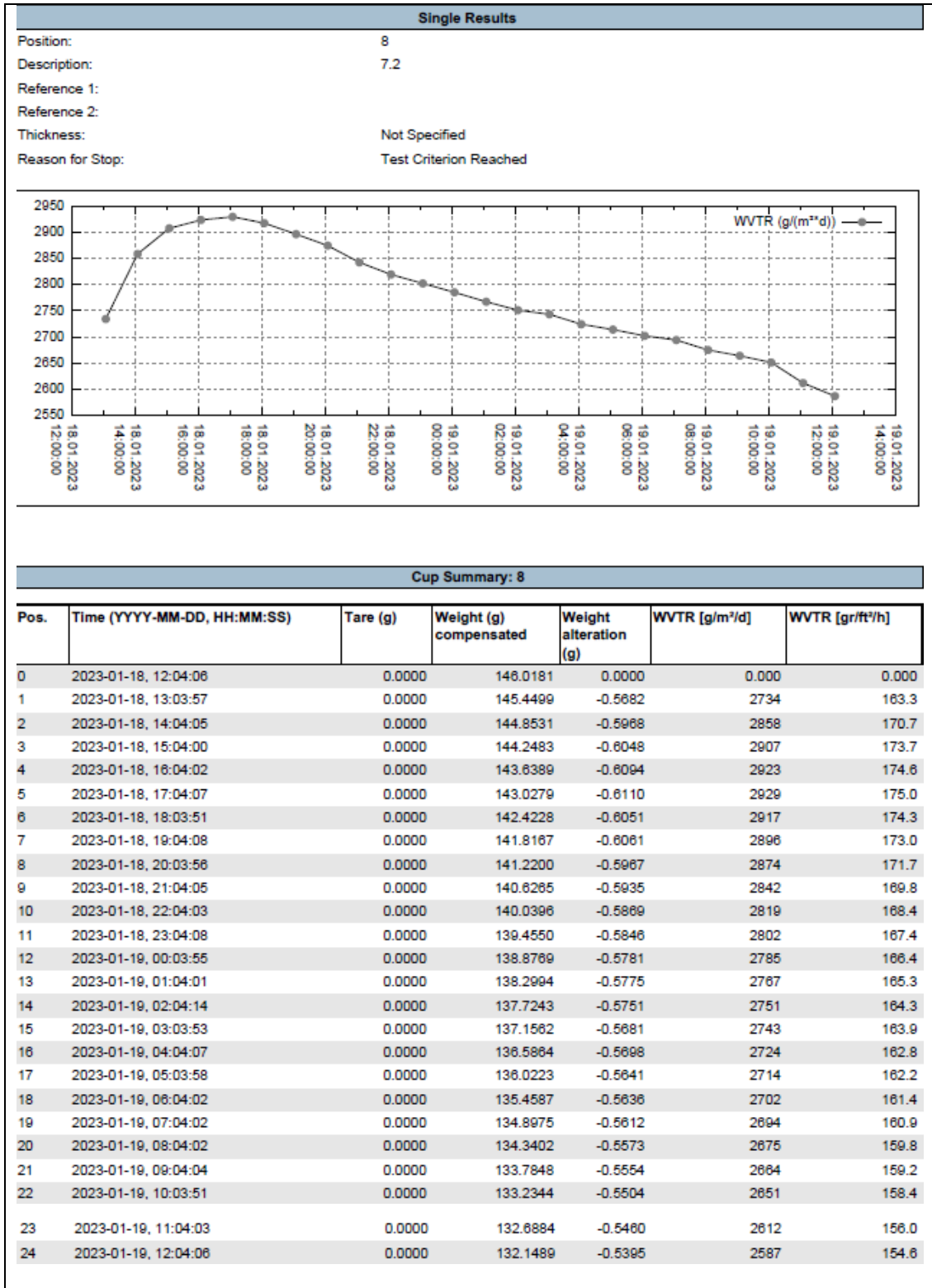


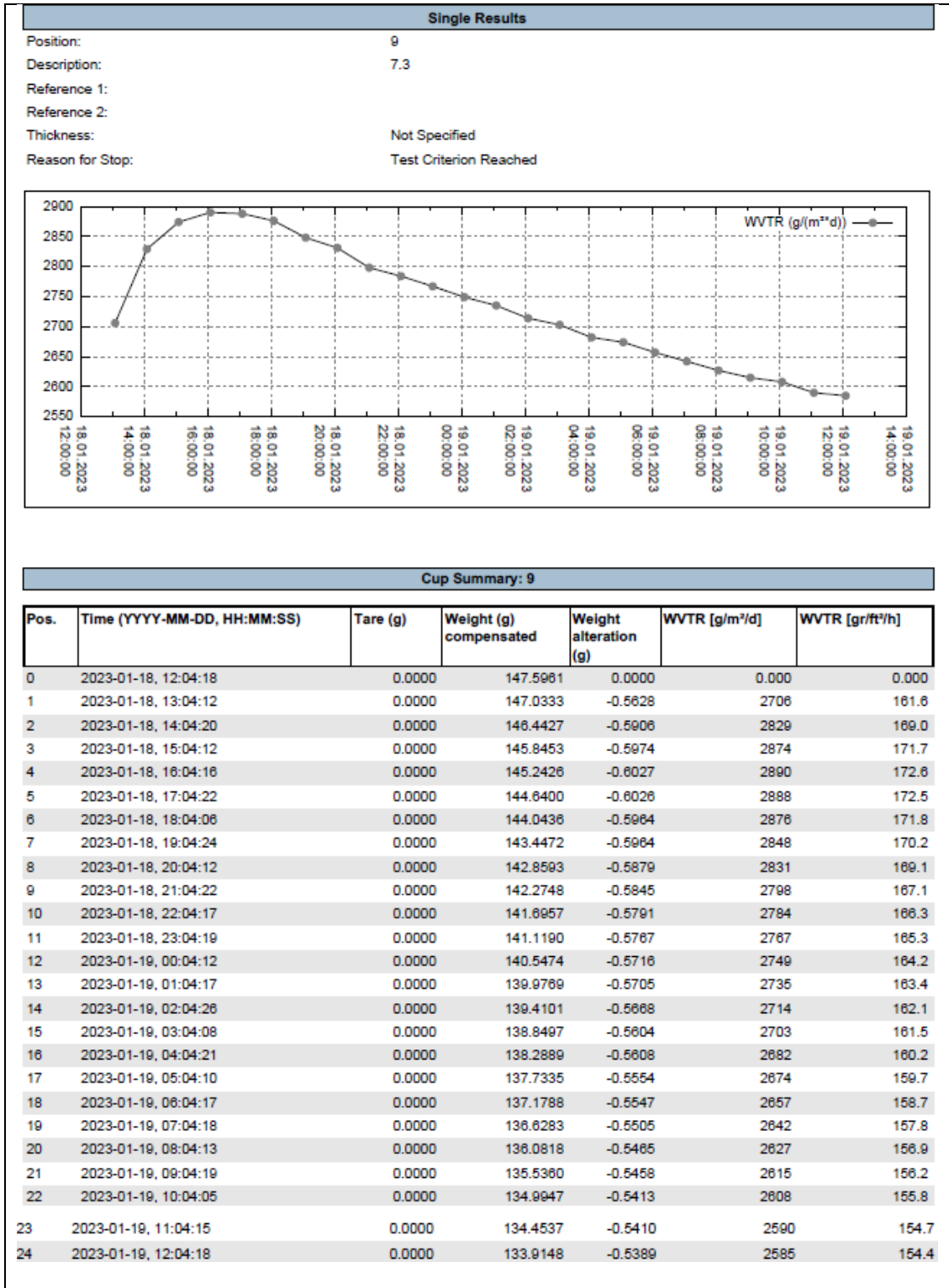


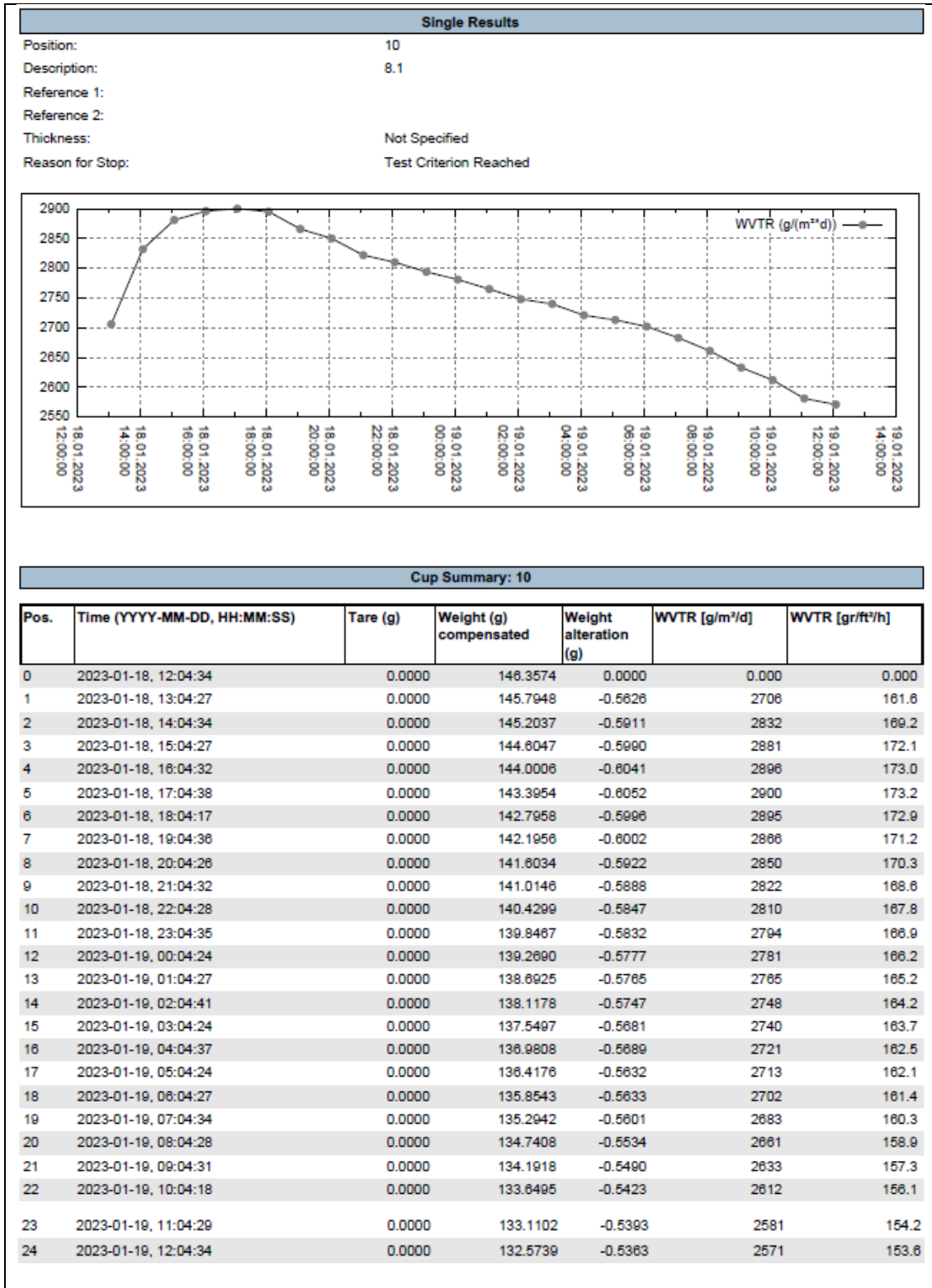


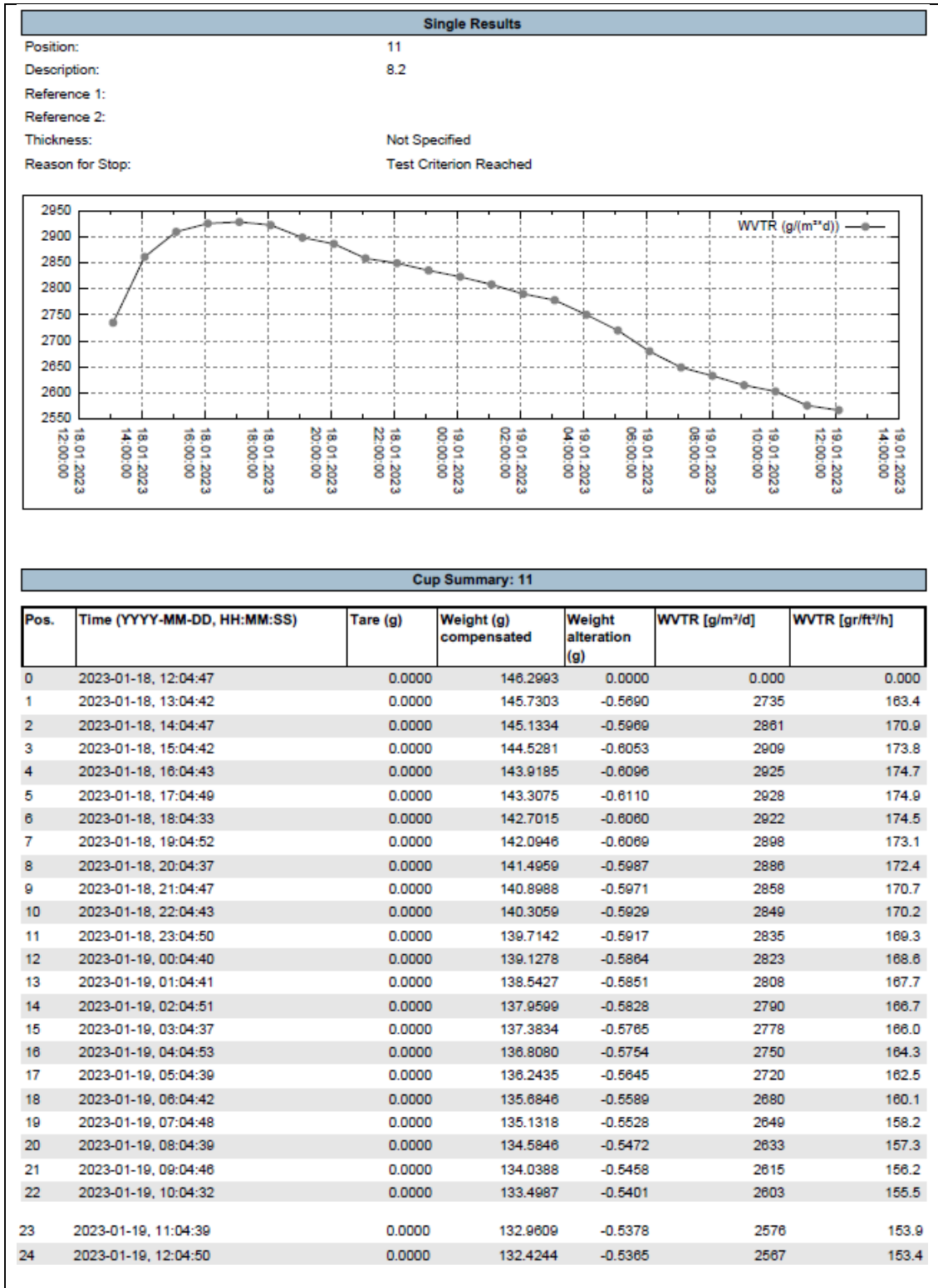


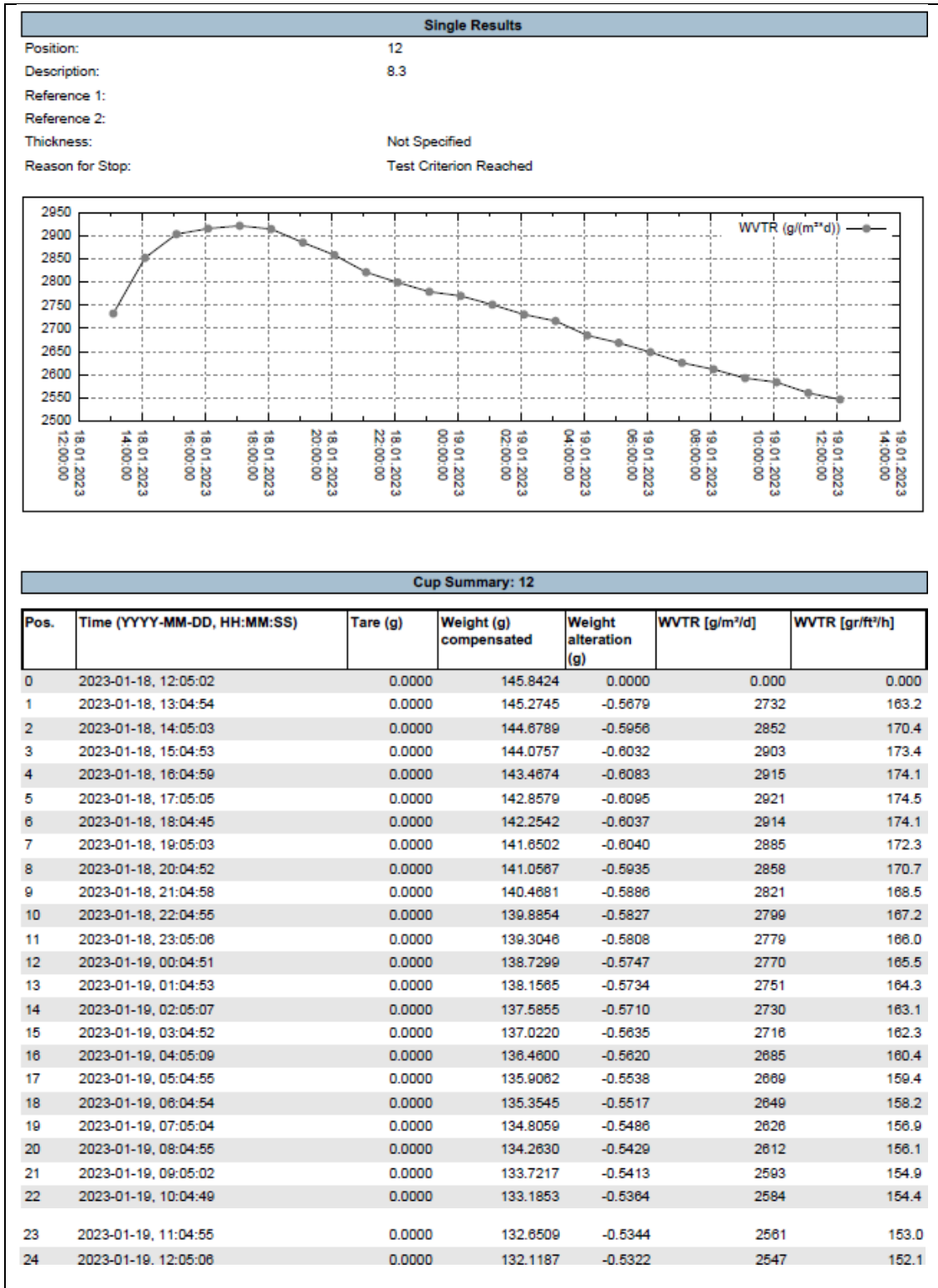


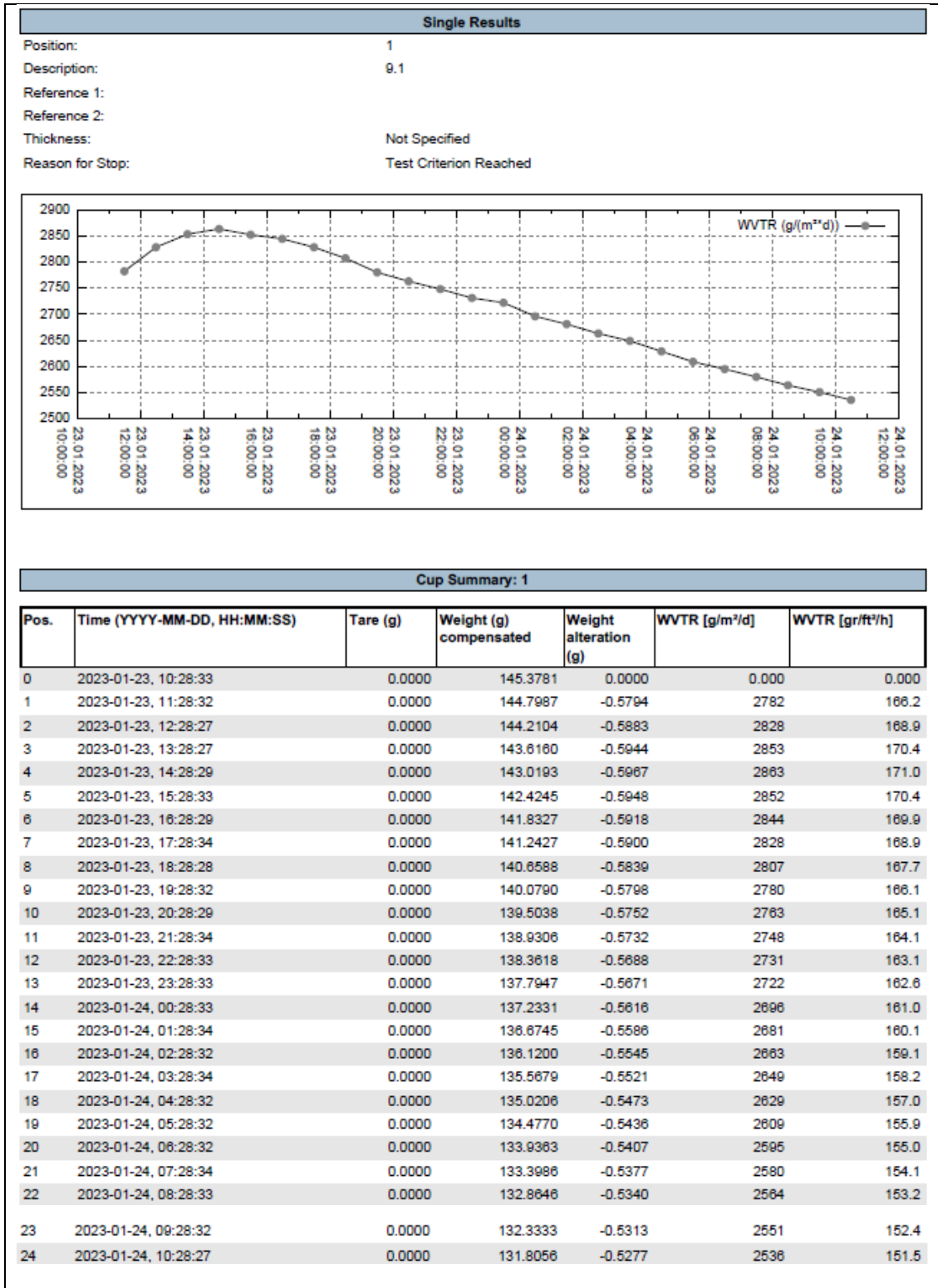


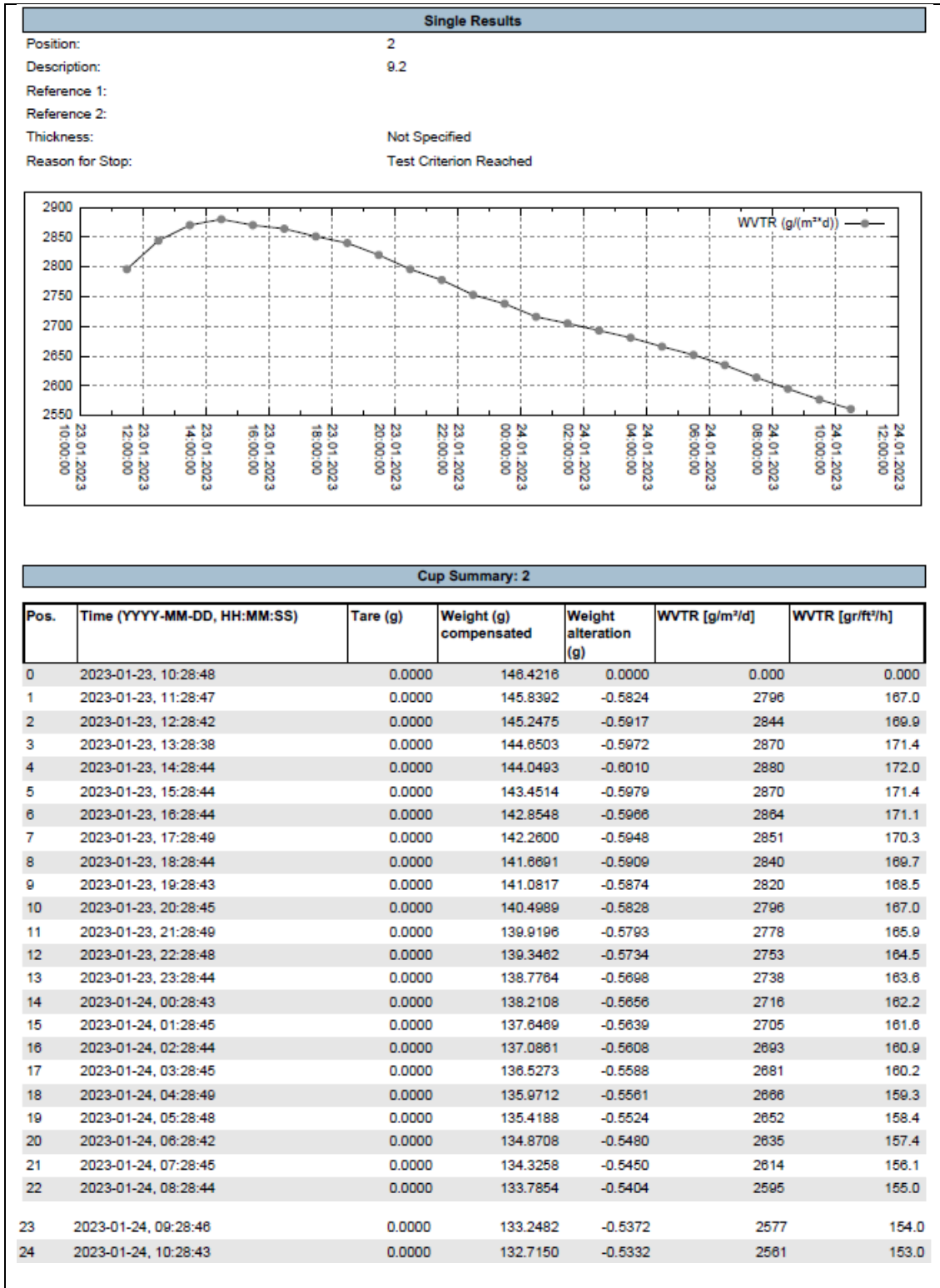












Cup Summary: 2

Pos.	Time (YYYY-MM-DD, HH:MM:SS)	Tare (g)	Weight (g) compensated	Weight alteration (g)	WVTR [g/m ² /d]	WVTR [gr/ft ² /h]
0	2023-01-23, 10:28:48	0.0000	146.4216	0.0000	0.000	0.000
1	2023-01-23, 11:28:47	0.0000	145.8392	-0.5824	2796	167.0
2	2023-01-23, 12:28:42	0.0000	145.2475	-0.5917	2844	169.9
3	2023-01-23, 13:28:38	0.0000	144.6503	-0.5972	2870	171.4
4	2023-01-23, 14:28:44	0.0000	144.0493	-0.6010	2880	172.0
5	2023-01-23, 15:28:44	0.0000	143.4514	-0.5979	2870	171.4
6	2023-01-23, 16:28:44	0.0000	142.8548	-0.5966	2864	171.1
7	2023-01-23, 17:28:49	0.0000	142.2600	-0.5948	2851	170.3
8	2023-01-23, 18:28:44	0.0000	141.6691	-0.5909	2840	169.7
9	2023-01-23, 19:28:43	0.0000	141.0817	-0.5874	2820	168.5
10	2023-01-23, 20:28:45	0.0000	140.4989	-0.5828	2796	167.0
11	2023-01-23, 21:28:49	0.0000	139.9196	-0.5793	2778	165.9
12	2023-01-23, 22:28:48	0.0000	139.3462	-0.5734	2753	164.5
13	2023-01-23, 23:28:44	0.0000	138.7764	-0.5698	2738	163.6
14	2023-01-24, 00:28:43	0.0000	138.2108	-0.5656	2716	162.2
15	2023-01-24, 01:28:45	0.0000	137.6469	-0.5639	2705	161.6
16	2023-01-24, 02:28:44	0.0000	137.0861	-0.5608	2693	160.9
17	2023-01-24, 03:28:45	0.0000	136.5273	-0.5588	2681	160.2
18	2023-01-24, 04:28:49	0.0000	135.9712	-0.5561	2666	159.3
19	2023-01-24, 05:28:48	0.0000	135.4188	-0.5524	2652	158.4
20	2023-01-24, 06:28:42	0.0000	134.8708	-0.5480	2635	157.4
21	2023-01-24, 07:28:45	0.0000	134.3258	-0.5450	2614	156.1
22	2023-01-24, 08:28:44	0.0000	133.7854	-0.5404	2595	155.0
23	2023-01-24, 09:28:46	0.0000	133.2482	-0.5372	2577	154.0
24	2023-01-24, 10:28:43	0.0000	132.7150	-0.5332	2561	153.0

