

VLIV PE/PA VAKUOVÉHO BALENÍ NA LYOFILIZOVANÉ BOJOVÉ POTRAVINOVÉ DÁVKY SKLADOVANÉ PŘI 5, 25 A 40 °C

EFFECT OF PE/PA VACUUM PACKAGING ON FREEZE-DRIED COMBAT RATIONS STORED AT 5, 25 AND 40 °C

Martin Szotkowski¹ – Jiří Malíšek¹ – Markéta Pětová¹ – Kristina Trenzová¹ – Kateřina Křištofová²

¹ Laboratoř výzkumu jakosti a bezpečnosti potravin, Katedra logistiky, Fakulta vojenského leadershipu, Univerzita obrany, Kounicova 65, 662 10 Brno, Česká republika

² Ústav hygieny a technologie potravin rostlinného původu, Fakulta veterinární hygieny a ekologie, Veterinární univerzita Brno, Palackého tř. 1946/1, 612 42 Brno, Česká republika

<https://doi.org/10.11118/978-80-7701-100-6-0369>



ABSTRAKT

Zajištění dlouhodobé stability a bezpečnosti bojových a nouzových dávek je nezbytné pro operační připravenost a krizovou reakci. Tato studie hodnotila stabilitu lyofilizovaných pokrmů určených pro vojenské použití podle standardu NATO AMedP 1.11 s důrazem na vhodnost vakuového balení z polyethylenu/polyamidu (PE/PA) jako lehké alternativy k bariérovým materiálům na bázi hliníku. Bylo vyrobeno a lyofilizováno pět typů pokrmů: hovězí guláš, vepřový guláš, hovězí s ječným vejcem, vepřové s ječným vejcem a kuřecí s ječným vejcem. Porce byly vakuově uzavřeny v PE/PA sáčcích a skladovány 12 měsíců při teplotě 5 °C, 25 °C a 40 °C, aby se simulovaly podmínky chladu, okolního prostředí a zrychleného stárnutí. Fyzikálně-chemická stabilita byla sledována pomocí vodní aktivity, obsahu vlhkosti, pH a změny barvy. Vodní aktivita zůstala po celou dobu skladování pod kritickou hranicí pro mikrobiální růst, v rozmezí přibližně od 0,15 při 5 °C do 0,38 při 40 °C. Mikrobiologické analýzy potvrdily absenci patogenní kontaminace ve všech pokrmech. Senzorické hodnocení ukázalo, že pokrmy skladované při teplotách 5 °C a 25 °C si zachovaly přijatelnou kvalitu, zatímco skladování při 40 °C vedlo k významnému poklesu sensorických vlastností, zejména textury a chuti. Skladování při vysokých teplotách podporovalo oxidační znehodnocování, přičemž zvýšená žluklost byla nejvýraznější u pokrmů gulášového typu. Výsledky ukazují, že lyofilizace v kombinaci s vakuovým balením z PE/PA poskytuje účinnou mikrobiologickou bezpečnost a uspokojivou krátkodobou až střednědobou stabilitu za mírných podmínek. Mírné bariérové vlastnosti PE/PA pro ochranu proti kyslíku a vlhkosti však nemusí být dostatečné pro zachování sensorické kvality během dlouhodobého skladování při zvýšených teplotách. Tato zjištění zdůrazňují důležitost výběru obalů a kontroly skladovací teploty při vývoji a logistickém nasazení stabilních, přijatelných a nutričně spolehlivých vojenských dávek.

Klíčová slova: lyofilizace, vojenské dávky, PE/PA balení, vakuové těsnění, trvanlivost, sensorická stabilita, aktivita vody

ABSTRACT

Ensuring long-term stability and safety of combat and emergency rations is essential for operational readiness and crisis response. This study evaluated the stability of freeze-dried meals intended for military use according to NATO Standard AMedP 1.11, with emphasis on the suitability of polyethylene/polyamide (PE/PA) vacuum packaging as a lightweight alternative to aluminium-based barrier materials. Five meal types were produced and freeze-dried: beef goulash, pork goulash, beef with egg barley, pork with egg barley, and chicken with egg barley. Portions were vacuum-sealed in PE/PA pouches and stored for 12 months at 5 °C, 25 °C, and 40 °C to simulate cold, ambient, and accelerated aging conditions. Physicochemical stability was

monitored using water activity, moisture content, pH, and color parameters. Water activity remained below the critical threshold for microbial growth throughout storage, ranging approximately from 0.15 at 5 °C to 0.38 at 40 °C. Microbiological analyses confirmed the absence of pathogenic contamination across all meals and sampling points. Sensory evaluation showed that meals stored at 5 °C and 25 °C retained acceptable quality, while storage at 40 °C resulted in a significant decline in sensory attributes, particularly texture and taste. High-temperature storage promoted oxidative deterioration, with increased rancidity most pronounced in goulash-type meals. The results demonstrate that freeze-drying combined with PE/PA vacuum packaging provides effective microbiological safety and satisfactory short-to-medium-term stability under temperate conditions. However, the moderate oxygen and moisture barrier properties of PE/PA may be insufficient to preserve sensory quality during prolonged storage at elevated temperatures. These findings highlight the importance of packaging selection and storage temperature control in the development and logistical deployment of stable, acceptable, and nutritionally reliable military rations.

Keywords: freeze-drying, military rations, PE/PA packaging, vacuum sealing, shelf life, sensory stability, water activity

ÚVOD

Zajištění stabilních, bezpečných a nutričně hodnotných potravinových dávek představuje klíčový prvek logistické podpory ozbrojených sil, zejména při dlouhodobých operacích, výcviku a nasazení v náročných klimatických podmínkách. Bojové potravinové dávky musí splňovat požadavky na mikrobiologickou bezpečnost, skladovatelnost, nízkou hmotnost, snadnou manipulaci a současně dostatečnou senzorickou přijatelnost, protože ta přímo ovlivňuje reálný příjem energie a živin během výkonu (NATO, 2009; NATO, 2014). V praxi přitom často dochází k tomu, že i mikrobiologicky bezpečný výrobek může být z hlediska chuti, vůně nebo textury nevyhovující, což snižuje jeho využitelnost v reálných podmínkách nasazení.

Jednou z perspektivních technologií pro přípravu dlouhodobě stabilních jídel je lyofilizace (sušení mrazem), která umožňuje odstranit vodu z potravin sublimací při nízké teplotě a sníženém tlaku. Oproti konvenčním metodám sušení nabízí lyofilizace výhodu lepšího zachování struktury, senzorických vlastností a části nutričně významných složek, zároveň výrazně snižuje hmotnost a zvyšuje logistickou přenositelnost hotových porcí (Ratti, 2001; Duan et al., 2015). Zásadním efektem lyofilizace je snížení vodní aktivity, která je považována za jeden z hlavních faktorů určujících mikrobiologickou stabilitu sušených potravin (Barbosa-Cánovas et al., 2020; Peleg, 2022). Díky nízké vodní aktivitě lze dosáhnout dlouhodobé skladovatelnosti bez nutnosti chlazení, což je z pohledu armádní logistiky významný benefit.

Pro reálnou stabilitu lyofilizovaných jídel je však kromě samotné technologie výroby rozhodující také volba obalového systému. Obal musí omezovat pronikání kyslíku a vodních par do produktu, protože právě tyto faktory urychlují chemické změny, zejména oxidaci lipidů, degradaci aromatických látek a postupné zhoršování senzorické kvality během skladování (Lange a Wyser, 2003; Ruiz-Capillas a Moral, 2021). Tradičně jsou pro dlouhodobé skladování citlivých potravin využívány vícevrstvé materiály s vysokou bariérovou účinností, například hliníkové lamináty, které poskytují velmi dobrou ochranu vůči kyslíku i vlhkosti, avšak mohou zvyšovat hmotnost, cenu a nároky na manipulaci (Lamberti a Escher, 2007). Alternativou mohou být lehčí polymerní materiály typu PE/PA, které jsou flexibilní a snadno použitelné ve vakuovém balení, nicméně jejich bariérové vlastnosti mohou být v dlouhodobém horizontu limitující (Lange a Wyser, 2003).

Zhoršení kvality lyofilizovaných masných výrobků během skladování bývá nejčastěji spojeno s oxidačními procesy, které vedou ke vzniku žluklosti, změnám chuti a vůně a v některých případech i k barevným změnám produktu. Tyto procesy mohou probíhat i při nízké vodní aktivitě, přičemž jejich rychlost je ovlivněna zejména

teplotou skladování a dostupností kyslíku (Sun et al., 2002; Ruiz-Capillas a Moral, 2021). Vakuové balení může tyto změny zpomalit, avšak účinnost závisí na tom, jak dobře obal brání pronikání kyslíku do výrobku v průběhu času (Farkas, 2020). Proto je pro potraviny určené do bojových dávek důležité hodnotit nejen mikrobiologickou bezpečnost, ale také dlouhodobou senzorickou stabilitu při teplotách odpovídajících reálným podmínkám skladování.

Cílem této studie bylo posoudit stabilitu vybraných lyofilizovaných jídel určených pro bojové potravinové dávky, která byla vakuově balena do PE/PA obalů a skladována při 5 °C, 25 °C a 40 °C po dobu až 12 měsíců. Hodnoceny byly změny vodní aktivity, fyzikálně-chemických parametrů, mikrobiologické bezpečnosti a senzorické přijatelnosti, aby bylo možné určit vhodnost tohoto typu balení pro různé scénáře vojenského použití (NATO, 2009; NATO, 2014).

MATERIÁL A METODIKA

Pět druhů pokrmů bylo připraveno podle standardizovaných technologických postupů: hovězí guláš, vepřový guláš, hovězí s tarhoňou, vepřové s tarhoňou a kuřecí s tarhoňou. U všech variant byla dodržena jednotná technologická logika přípravy tak, aby bylo možné porovnat stabilitu produktů především v závislosti na skladovací teplotě a typu pokrmu. Po uvaření byly pokrmy homogenizovány promícháním a porcovány do jednotných dávek s maximální tloušťkou vrstvy ≤ 20 mm, což umožnilo rovnoměrný průběh mražení i následné sublimace během lyofilizace.

Pokrmy byly zmrazeny při teplotě -40 ± 2 °C po dobu 24 hodin, aby došlo k úplné krystalizaci vody v celém objemu vzorku a minimalizovalo se riziko nerovnoměrného sušení. Následně byly vzorky lyofilizovány v poloprovozním lyofilizátoru. Cílovým parametrem byla konečná vlhkost < 4 %, která je pro lyofilizované potraviny žádoucí z hlediska prodloužení skladovatelnosti a omezení chemických i mikrobiologických změn. Po ukončení procesu byly vzorky ponechány k temperaci v laboratorních podmínkách tak, aby nedocházelo ke kondenzaci vlhkosti při manipulaci a balení.

Lyofilizované pokrmy byly následně baleny do vícevrstvých sáčků z PE/PA o tloušťce 90 μ m. Balení bylo provedeno vakuovým uzavřením s nastavením 90% vakua po dobu 10 s a s použitím dvojitého těsnění, čímž se minimalizovalo riziko netěsností během dlouhodobého skladování. Bariérové vlastnosti obalového materiálu byly charakterizovány hodnotami OTR 2,5 $\text{cm}^3/\text{m}^2/24$ h při 23 °C a WVTR 5,8 $\text{g}/\text{m}^2/24$ h při 38 °C a 90% relativní vlhkosti. Tyto parametry představují klíčové ukazatele pro posouzení vhodnosti obalu pro lyofilizované potraviny, protože ovlivňují rychlost pronikání kyslíku a vodních par do výrobku, a tím i riziko oxidačních změn, změn vodní aktivity a senzorické degradace během skladování.

Vzorky byly skladovány při teplotě 5 °C, 25 °C a 40 °C po dobu až 12 měsíců. Teploty byly zvoleny tak, aby reprezentovaly podmínky chlazeného skladování, běžného skladování při okolní teplotě a urychleného skladování při zvýšené teplotě, které simuluje náročné podmínky v teplém klimatu nebo při dlouhodobém transportu. Analýzy byly prováděny v předem definovaných intervalech během skladování tak, aby bylo možné sledovat dynamiku změn a případné zhoršování kvality v čase.

Fyzikálně-chemické analýzy zahrnovaly stanovení vodní aktivity (a_w), obsahu vlhkosti, pH a barevných parametrů. Vodní aktivita byla využita jako klíčový ukazatel stability a potenciálního mikrobiologického rizika, zatímco obsah vlhkosti umožnil posoudit případný příjem vodních par přes obal během skladování. Hodnota pH byla sledována jako doplňkový parametr stability potravinové matrice. Barva byla hodnocena instrumentálně v systému CIELAB a změny byly vyjádřeny pomocí celkové barevné odchylky ΔE , která umožňuje objektivní porovnání mezi jednotlivými variantami i skladovacími podmínkami.

Mikrobiologická bezpečnost byla hodnocena stanovením celkového počtu kolonií tvořících jednotek (CFU) a současně sledováním indikátorových a potenciálně patogenních skupin mikroorganismů, zejména

Enterobacteriaceae, Clostridium spp. a mikroskopických hub/kvasinek. Tento přístup umožnil ověřit, zda lyofilizace a zvolený obalový systém poskytují dostatečnou ochranu nejen proti běžné kontaminaci, ale i proti rizikovým mikrobiálním skupinám relevantním pro potraviny určené k dlouhodobému skladování.

Senzorické hodnocení bylo provedeno pomocí 9-bodové hedonické stupnice, přičemž byly posuzovány klíčové atributy ovlivňující akceptaci produktu: vzhled, textura, chuť/vůně a celkový dojem. Hodnocení bylo zaměřeno na identifikaci případných negativních změn, které mohou vznikat během skladování (např. žluklost, zhoršení chuti, změny konzistence nebo textury po rehydrataci). Získaná data byla statisticky vyhodnocena pomocí neparametrických metod, které jsou vhodné pro senzorická data a ordinalní škály.

VÝSLEDKY A DISKUZE

Lyofilizace vedla k výraznému snížení vodní aktivity u všech testovaných jídel ve srovnání s čerstvým stavem. Během 12 měsíců skladování zůstala vodní aktivita nízká a nepřekročila kritickou hranici pro růst mikroorganismů ($a_w < 0,60$) (Barbosa-Cánovas et al., 2020; Peleg, 2022). Nejnižší hodnoty byly zaznamenány při skladování při 5 °C, zatímco při urychleném skladování při 40 °C byly hodnoty a_w nejvyšší a u nejvíce ovlivněných vzorků dosahovaly přibližně 0,38 (tab. 1). Celkově se hodnoty pohybovaly přibližně v rozmezí 0,15 (5 °C) až 0,38 (40 °C), což potvrzuje dobrou stabilitu lyofilizovaných produktů v PE/PA vakuovém balení (NATO, 2009).

Z hlediska mikrobiologické bezpečnosti lyofilizace představuje velmi robustní konzervační technologii, protože nízká vodní aktivita omezuje růst většiny bakterií, kvasinek i plísní. Kombinace nízké a_w a vakuového balení navíc významně přispívá ke stabilitě výrobku během skladování a přepravy, což je zásadní zejména pro použití v operačních a krizových podmínkách (Farkas, 2020; NATO, 2009). Výsledky potvrzují, že zvolený technologický postup je vhodný pro produkci dlouhodobě stabilních potravinových dávek, které mohou být využity nejen v armádních podmínkách, ale i v rámci IZS a humanitárních scénářů (NATO, 2014).

Mikrobiologické analýzy potvrdily bezpečnost všech výrobků po celou dobu skladování. Nebyla prokázána přítomnost patogenních mikroorganismů, včetně Enterobacteriaceae, Clostridium spp., plísní/kvasinek ani aerobních sporulujících bakterií (tab. 1). Celkové počty mikroorganismů (CFU) se pohybovaly v přijatelných limitech pro sušené potraviny ve všech sledovaných časech a teplotách, což ukazuje, že kombinace standardizované přípravy, lyofilizace a vakuového uzavření účinně zabránila mikrobiologickému kažení během 12 měsíců (Farkas, 2020; NATO, 2009).

Z hlediska obalového systému je však důležité zdůraznit, že mikrobiologická stabilita není jediným kritériem použitelnosti bojových potravinových dávek. Pro reálné nasazení je zásadní také senzorická kvalita, protože ta přímo ovlivňuje ochotu dávku konzumovat a tím i reálný nutriční příjem během operací (NATO, 2014). Vakuové balení obecně zvyšuje bezpečnost potravin omezením přístupu kyslíku, nicméně výsledná stabilita je výrazně závislá na bariérových vlastnostech použitého materiálu a na skladovací teplotě (Farkas, 2020; Lange a Wyser, 2003).

Tabulka 1: Souhrn mikrobiologických výsledků lyofilizovaných pokrmů během skladování

Mikrobiologický parametr	5 °C (0–12 měsíců)	25 °C (0–12 měsíců)	40 °C (0–12 měsíců)	Hodnocení
Celkový počet mikroorganismů (CFU)	v limitu	v limitu	v limitu	vyhovující
Enterobacteriaceae	neprokázány	neprokázány	neprokázány	vyhovující
Clostridium spp.	neprokázány	neprokázány	neprokázány	vyhovující
Plísňe	neprokázány	neprokázány	neprokázány	vyhovující
Kvasinky	neprokázány	neprokázány	neprokázány	vyhovující
Patogenní mikroorganismy	neprokázány	neprokázány	neprokázány	vyhovující

Barevná stabilita se lišila podle typu jídla i skladovací teploty (tab. 2). Bezprostředně po lyofilizaci byly u většiny vzorků pozorovány pouze střední změny celkové barevné odchylky (ΔE), přičemž větší změny byly typické zejména pro hovězí varianty. V průběhu skladování se projevil vliv teploty – při vyšších teplotách byly barevné změny výraznější, především u jídel s obsahem hovězí složky. Tyto změny lze vysvětlit souběhem oxidačních reakcí, případně i změnami pigmentů a složek masné matrice, které se mohou při zvýšené teplotě urychlovat (Ruiz-Capillas a Moral, 2021).

Tabulka 2: Změna barvy (ΔE) lyofilizovaných pokrmů: po lyofilizaci a během skladování

Pokrm	ΔE_1 (čerstvé → 0m)	ΔE_2 5 °C (0m → 3m)	ΔE_2 25 °C (0m → 3m)	ΔE 40 °C (0m → 1m)	ΔE 40 °C (0m → 3m)	ΔE 25 °C (0m → 1 rok)
Hovězí guláš	4,76	8,7	4,83	6,99	2,96	2,29
Vepřový guláš	8,02	5,1	5,29	7,9	5	2,91
Kuřecí + ječné vejce	8,53	0,89	1,58	2,02	2,33	0,74
Vepřové + ječné vejce	7,73	3,05	4,43	3,96	2,04	1,48
Hovězí + ječné vejce	10,99	4,27	11,27	21,18	1,51	5,24

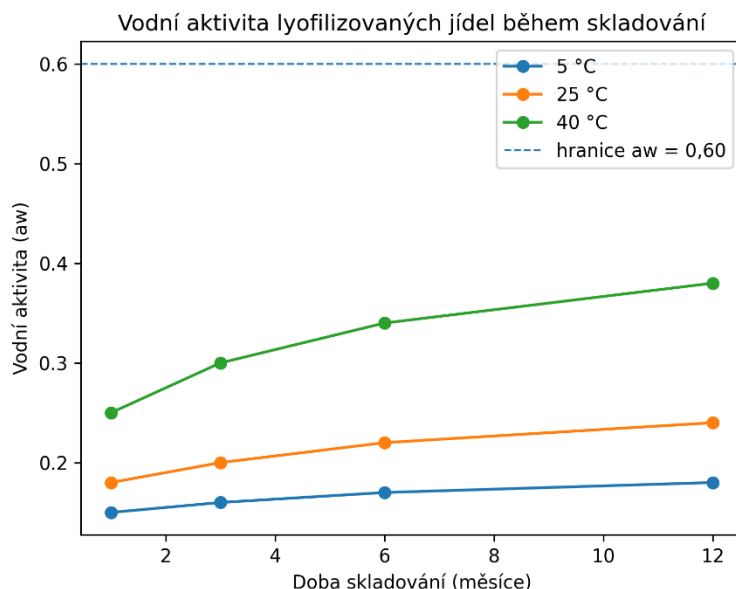
Senzorické hodnocení ukázalo, že klíčovým limitujícím faktorem celkové přijatelnosti byla skladovací teplota. Vzorky skladované při 5 °C a 25 °C si obecně udržely dobré hodnocení vzhledu, textury i chuti/aromatu. Naopak při skladování při 40 °C došlo k významnému zhoršení senzorické kvality, zejména u textury a chuti (tab. 3), přičemž byl zaznamenán nárůst žluklosti hlavně u gulášových variant. Výsledky tedy potvrzují, že ačkoli PE/PA vakuové balení zajišťuje mikrobiologickou stabilitu, jeho střední bariérové vlastnosti vůči kyslíku nemusí při dlouhodobém skladování za zvýšené teploty dostatečně zabránit oxidační degradaci (Lange a Wyser, 2003; Ruiz-Capillas a Moral, 2021).

Tabulka 3: Souhrn výsledků post-hoc Dunnova testu a velikostí efektu (η^2) pro vybrané senzorycké atributy

Atribut	Statisticky významné porovnání	p-hodnota	Velikost efektu (η^2)	Interpretace
Kuřecí s ječným vejcem – souhrn post-hoc testu				
Vzhled	5 °C 1 měsíc vs. 25 °C 12 měsíců	0,0378	0,1884	Významné, velký efekt
Textura	5 °C 1 měsíc vs. 25 °C 12 měsíců	0,0027	0,3341	Vysoce významné, velký efekt
Chut' a aroma	n.s.	n.s.	–	Nevýznamné
Celkové hodnocení	5 °C 1 měsíc vs. 25 °C 12 měsíců	0,025	0,2239	Významné, velký efekt
Hovězí s ječným vejcem – souhrn post-hoc testu				
Vzhled	n.s.	n.s.	–	Nevýznamné
Textura	5 °C 1 měsíc vs. 25 °C 12 měsíců	0,0005	velký	Vysoce významné, velký efekt
Chut' a aroma	5 °C 1 měsíc vs. 25 °C 3 měsíce	0,0072	velký	Významné, velký efekt
Celkové hodnocení	5 °C 1 měsíc vs. 25 °C 3 měsíce	0,012	$\approx 0,29$	Významné, velký efekt
Vepřový guláš – souhrn post-hoc testu				
Vzhled	5 °C 1 měsíc vs. 5 °C 3 měsíce; 5 °C 1 měsíc vs. 25 °C 3 měsíce	0,0427 / 0,0335	0,2552	Významné, velký efekt
Textura	5 °C 1 měsíc vs. 25 °C 3 měsíce	0,0066	0,3196	Vysoce významné, velký efekt
Chut' a aroma	n.s.	n.s.	–	Nevýznamné
Celkové hodnocení	n.s.	n.s.	0,2654	Trend (velký efekt, nevýznamné)

Zhoršení senzorycké kvality při 40 °C je pravděpodobně spojeno zejména s lipidovou oxidací, která je u masných výrobků hlavním mechanismem vzniku žluklosti, degradace chuti a postupného poklesu celkové přijatelnosti (Ruiz-Capillas a Moral, 2021). V tomto kontextu je důležité, že i když lyofilizace výrazně snižuje obsah volné vody (obr. 1), oxidační reakce mohou pokračovat i v suché matici, a jejich rychlost může být ovlivněna jak teplotou, tak dostupností kyslíku, případně i vodní aktivitou (Sun et al., 2002). To vysvětluje, proč se při vyšších teplotách objevují výraznější senzorycké změny i v případě mikrobiologicky stabilních produktů.

Z praktického hlediska výsledky podporují zvolený přístup k volbě obalů pro bojové potravinové dávky. PE/PA materiál může být výhodnou volbou pro krátkodobé až střednědobé skladování v mírném klimatu, protože je lehký, flexibilní a logisticky dobře použitelný (Lange a Wyser, 2003). Pro dlouhodobé skladování v extrémních teplotách však může být vhodnější použití obalů s vyšší bariérovou ochranou, například hliníkových laminátů nebo metalizovaných fólií, které významně snižují prostup kyslíku a tím i riziko oxidačních změn (Lamberti a Escher, 2007; Piergiovanni a Limbo, 2004). Tyto materiály sice představují vyšší hmotnostní a ekonomickou zátěž, avšak z hlediska zachování senzorycké kvality při dlouhodobém skladování mohou být pro některé typy nasazení nezbytné (NATO, 2009; NATO, 2014).



Obrázek 1: Vodní aktivita jídel balených v PE/PA obalu v průběhu skladování

ZÁVĚR

Tato práce prokázala, že kombinace lyofilizace a PE/PA vakuového balení představuje účinný způsob konzervace jídel určených pro bojové a nouzové potravinové dávky, zejména z hlediska mikrobiologické bezpečnosti a udržení nízké vodní aktivity během dlouhodobého skladování. Produkty zůstaly bezpečné i při skladování za zvýšených teplot, což potvrzuje vhodnost lyofilizace jako stabilizační metody pro operační použití. Současně bylo zjištěno, že hlavním limitujícím faktorem při dlouhodobém skladování není mikrobiologická stabilita, ale senzorická přijatelnost. Při skladování při 40 °C docházelo k výraznějšímu zhoršení textury a chuti, zejména u jídel s vyšším podílem tuku, kde se projevovaly známky oxidačních změn a nárůst žluklosti. PE/PA obaly tedy mohou být vhodnou a logisticky výhodnou alternativou pro krátkodobé až střednědobé skladování v podmínkách mírného klimatu (5–25 °C), avšak pro dlouhodobé skladování v extrémních teplotách je vhodné uvažovat o obalech s vyšší bariérovou ochranou vůči kyslíku a vlhkosti.

Z praktického hlediska výsledky podporují zvolený přístup k volbě obalového materiálu: PE/PA balení je výhodné pro mobilní jednotky a nasazení, kde hraje roli nízká hmotnost a flexibilita, zatímco pro dlouhodobé zásoby a použití v horkém prostředí je vhodnější využít obaly s vyšší bariérovou účinností pro zachování senzorické kvality a celkové akceptace potravin.

PODĚKOVÁNÍ

Autoři děkují Ministerstvu obrany České republiky za podporu výzkumu v rámci projektu INTAL – Implementace nových technologií a postupů do logistické podpory Armády České republiky. Dále děkují Ministerstvu školství, mládeže a tělovýchovy České republiky za podporu specifického výzkumu zaměřeného na vývoj nových komponent pro balení potravinové dávky vhodné pro multinárodní operace (SV23-FVL-K109-MAL). Současně děkujeme všem spolupracujícím pracovníkům a členům senzorického panelu za jejich účast a odbornou podporu při realizaci experimentů a hodnocení vzorků.

LITERATURA

Barbosa-Cánovas, G. V., Fontana, A. J., Schmidt, S. J., Labuza, T. P. (2020): *Water Activity in Foods: Fundamentals and Applications*. Wiley. ISBN 978-1-118-76831-0.

Duan, X., Yang, X., Ren, G., Pang, Y., Liu, L., Liu, Y. (2015): Technical aspects in freeze-drying of foods. *Drying Technology*, 34(11), 1271–1285. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/07373937.2015.1099545>

Farkas, J. (2020): Role of vacuum packaging in food safety. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19(2), 1020–1035.

Lamberti, M., Escher, F. (2007): Aluminium foil as a food packaging material in comparison with other materials. *Food Reviews International*, 23(4), 407–433.

Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/87559120701593830>

Lange, J., Wyser, Y. (2003): Recent innovations in barrier technologies for plastic packaging—A review. *Packaging Technology and Science*, 16(4), 149–158. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/pts.621>

NATO. (2009): AmedP-1.11: *Military Food Supply Standards*. NATO Standardization Office.

NATO. (2014): STANAG 2937 – *Minimum nutritional values and information to be provided on combat rations*. Edition 6. Brussels: NATO Standardization Office.

Peleg, M. (2022): Models of the water activity effect on microbial growth rate and initiation. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 106(4), 1375–1382. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00253-022-11792-7>

Piergiiovanni, L., Limbo, S. (2004): The protective effect of film metallization against oxidative deterioration and discoloration of sensitive foods. *Packaging Technology and Science*, 17(3), 155–164. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/pts.651>

Ratti, C. (2001): Hot air and freeze-drying of high-value foods: A review. *Journal of Food Engineering*, 49(4), 311–319. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00228-4](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00228-4)

Ruiz-Capillas, C., Moral, A. (2021): Lipid oxidation and sensory quality of dried foods during storage: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 61(15), 2578–2590.

Sun, Q., Senecal, A., Chinachoti, P., Faustman, C. (2002): Effect of water activity on lipid oxidation and protein solubility in freeze-dried beef during storage. *Journal of Food Science*, 67(7), 2512–2516. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2002.tb08768.x>

Kontaktní adresa: Ing. Martin Szotkowski, Ph.D., Katedra logistiky, Fakulta vojenského leadershipu, Univerzita obrany, Kounicova 156/65, 662 10 Brno, e-mail: martin.szotkowski@unob.cz