

**INOVAČNÉ TECHNOLOGIE BALENIA MLIEKA A MLIEČNYCH VÝROBKOV
SO ZAMERANÍM NA INTELIGENTNÉ BALENIE**
**INNOVATIVE PACKAGING TECHNOLOGIES FOR MILK AND DAIRY PRODUCTS
WITH A FOCUS ON INTELLIGENT PACKAGING**

Adriana Pavelková¹

**¹ Ústav potravinárstva, Fakulta biotechnológie a potravinárstva,
Slovenská poľnohospodárska univerzita, Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra, Slovensko**

<https://doi.org/10.11118/978-80-7701-100-6-0299>



ABSTRAKT

Mlieko a mliečne výrobky patria medzi potraviny s obmedzenou trvanlivosťou, pričom ich stabilita je výrazne ovplyvnená podmienkami skladovania a distribúcie. Vysoký obsah vody a živín vytvára priaznivé prostredie pre mikrobiologické a chemické zmeny, ktoré môžu viesť k zhoršeniu kvality aj bezpečnosti výrobkov. V tomto kontexte zohráva balenie nielen ochrannú, ale aj stabilizačnú úlohu. Cieľom príspevku je analyzovať súčasné inovačné technológie balenia mlieka a mliečnych výrobkov s osobitným dôrazom na inteligentné obalové systémy. Pozornosť je venovaná modifikovanej atmosfére, aktívnemu baleniu, využitiu nanotechnológií a najmä indikátorovým a senzorickým prvkom inteligentného balenia. Text zároveň poukazuje na praktické limity implementácie týchto systémov v mliekarenskom sektore. Z dostupnej literatúry vyplýva, že inteligentné balenie môže prispieť k presnejšiemu hodnoteniu aktuálneho stavu výrobku a k redukcii potravinových strát. Jeho širšie uplatnenie však bude závisieť od ekonomickej efektívnosti, technologickej realizovateľnosti a miery akceptácie zo strany spotrebiteľov.

Kľúčové slová: balenie, inteligentné balenie, mlieko, mliečne výrobky, kvalita

ABSTRACT

Milk and dairy products are characterised by limited shelf life due to their high water activity and rich nutritional composition, which promote microbiological and chemical changes during storage and distribution. Packaging therefore plays a crucial role not only in protecting these products but also in maintaining their quality and safety until consumption. This paper provides a comprehensive overview of innovative packaging technologies applied in the dairy sector, with particular emphasis on intelligent packaging systems. Modified atmosphere packaging, active packaging, nanotechnology-based materials and various indicator and sensor systems are discussed. Special attention is given to the role of intelligent packaging in monitoring real storage conditions and assessing the actual status of dairy products. The analysis indicates that intelligent packaging has the potential to improve quality control, reduce food losses and enhance transparency within the supply chain. However, its broader implementation depends on economic feasibility, technological reliability and consumer acceptance.

Keywords: packaging, intelligent packaging, milk, dairy products, quality

ÚVOD

Balenie potravín predstavuje integrálnu súčasť potravinového reťazca, pričom jeho základnou funkciou je ochrana výrobku pred vonkajšími vplyvmi a zachovanie jeho kvalitatívnych vlastností až do momentu spotreby (Robertson, 2006). V prípade mlieka a mliečnych výrobkov nadobúda táto funkcia osobitný význam, keďže ide o produkty s vysokým obsahom vody a živín, ktoré vytvárajú priaznivé podmienky pre rast mikroorganizmov a urýchlené degradačné procesy (Alizadeh et al., 2022).

Mliečne výrobky zahŕňajú široké spektrum produktov – od surového a tepelne ošetrovaného mlieka, cez fermentované výrobky až po syry, maslo či smotanu. Každá z týchto skupín kladie odlišné nároky na obalový materiál, najmä z hľadiska bariérových vlastností voči kyslíku, svetlu, vlhkosti a mikroorganizmom (Alvarez a Pascall, 2011; Ščetar et al., 2019). Napríklad mlieko je mimoriadne citlivé na pôsobenie svetla, ktoré môže iniciovať oxidačné zmeny vedúce k senzorickým defektom. Fermentované výrobky si vyžadujú kontrolu výmeny plynov, zatiaľ čo pri syroch je kľúčová regulácia vlhkosti a mikrobiologickej stability (Alizadeh et al., 2022). Rozmanitosť týchto požiadaviek vytvára priestor pre aplikáciu špecifických a technologicky diferencovaných obalových riešení.

Rastúce požiadavky spotrebiteľov na bezpečnosť potravín, predlžovanie distribučných reťazcov a snaha o znižovanie potravinových strát zároveň podporujú vývoj pokročilejších baliacich systémov. Tieto systémy už neplnia iba ochrannú funkciu, ale poskytujú aj informácie o kvalite výrobku počas skladovania a distribúcie (Yam et al., 2005; Alizadeh et al., 2022). Medzi významné inovačné technológie patrí balenie v modifikovanej atmosfére, aktívne balenie, využitie nanotechnológií a inteligentné obalové systémy (Marsh a Bugusu, 2007; Ščetar et al., 2019). Práve inteligentné balenie predstavuje progresívny prístup, ktorý rozširuje tradičnú ochrannú funkciu obalu o schopnosť monitorovať aktuálny stav potravy počas skladovania a distribúcie (Heising et al., 2014).

PREHĽAD INOVAČNÝCH TECHNOLOGIÍ BALENIA V MLIEKARSTVE

Modifikovaná atmosféra

Balenie v modifikovanej atmosfére patrí medzi technologicky stabilizované a v praxi už etablované riešenia v mliekarstve. Jeho princíp spočíva v nahradení vzduchu v obale zmesou plynov, ktoré obmedzujú rast mikroorganizmov a spomaľujú oxidačné procesy. V prípade syrov sa tento prístup ukázal ako efektívny najmä pri predlžovaní trvanlivosti bez zásadného zásahu do senzorických vlastností výrobku (Garabal et al., 2010). Treba však zdôrazniť, že účinnosť modifikovanej atmosféry nie je univerzálna. Je podmienená typom výrobku, jeho mikrobiálnym zložením a presným nastavením plynovej zmesi. V niektorých prípadoch môže nesprávne zvolený pomer plynov viesť k nežiaducim zmenám textúry alebo k selektívnej podpore rastu určitých mikroorganizmov. Z tohto dôvodu je implementácia MAP vždy viazaná na konkrétny technologický kontext.

Aktívne balenie

Na rozdiel od modifikovanej atmosféry aktívne balenie nepracuje iba s úpravou vnútorného prostredia pri balení, ale s jeho priebežnou reguláciou počas skladovania. Využíva absorbéry kyslíka, regulátory vlhkosti alebo systémy uvoľňujúce antimikrobiálne látky, ktoré interagujú s prostredím v obale. V mliečnych výrobkoch sa tieto systémy uplatňujú najmä pri produktoch citlivých na oxidáciu alebo sekundárnu kontamináciu (Conte et al., 2013; Haghighi-Manesh a Azizi, 2017). Hoci aktívne balenie môže významne prispieť k stabilite výrobku, jeho aplikácia je technologicky náročnejšia. Okrem zabezpečenia kompatibility aktívnych látok s potravinou je potrebné riešiť aj otázky migrácie a legislatívne obmedzenia. Praktické využitie je preto často limitované na produkty s vyššou pridanou hodnotou, kde je zvýšenie nákladov ekonomicky obhájitelné.

Nanotechnológie v obalových systémoch

Nanotechnológie predstavujú ďalší krok vo vývoji obalových materiálov. Začlenenie nanočastíc alebo nanokompozitov umožňuje zlepšiť mechanickú pevnosť, bariérové vlastnosti voči kyslíku a vlhkosti a v niektorých prípadoch aj antimikrobiálnu aktivitu obalu (Duncan, 2011; Gopirajah a Anandharamakrishnan, 2017).

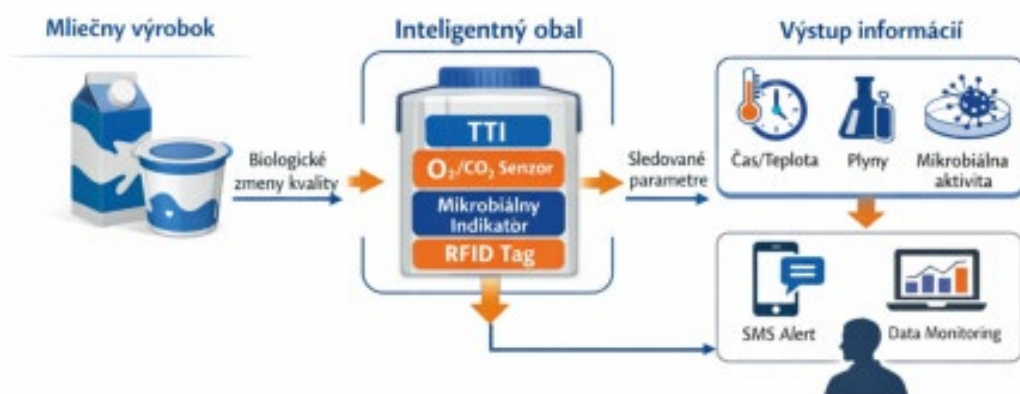
Potenciál týchto materiálov je nepochybne vysoký, avšak ich širšiemu rozšíreniu zatiaľ bránia otázky bezpečnosti a akceptácie spotrebiteľmi. V prípade potravín, ktoré sú vnímané ako „prirodzené“, môže použitie nanomateriálov vyvolávať obavy, a to aj napriek vedeckým dôkazom o ich bezpečnosti pri správnom použití. Diskusia o nanotechnológiách v potravinárskom balení tak presahuje čisto technologický rámec a vstupuje aj do oblasti percepcie rizika.

INTELIGENTNÉ BALENIE

Inteligentné balenie možno chápať ako rozšírenie tradičnej ochrannej funkcie obalu o schopnosť sledovať a komunikovať informácie o stave potraviny alebo o podmienkach jej skladovania. Nejde teda o pasívny prvok, ale o systém, ktorý reaguje na zmeny fyzikálnych, chemických alebo biologických parametrov a tieto zmeny určitým spôsobom signalizuje výrobcovi či spotrebiteľovi (Robertson, 2006; O’Callaghan a Kerry, 2016).

Na rozdiel od aktívneho balenia, ktoré priamo ovplyvňuje vnútorné prostredie obalu, inteligentné systémy primárne monitorujú jeho stav. Ich úlohou nie je zasahovať do procesov prebiehajúcich v potravine, ale poskytovať informácie o tom, že tieto procesy nastávajú. Takéto systémy umožňujú sledovať teplotu, čas skladovania, koncentráciu plynov, mikrobiologickú aktivitu či integritu obalu bez toho, aby dochádzalo k zásahu do samotného výrobku (Dainelli et al., 2008).

Význam inteligentného balenia je obzvlášť zreteľný pri produktoch s vysokou citlivosťou na porušenie chladiaceho reťazca. V prípade mlieka a mliečnych výrobkov môže už krátkodobé vystavenie nevhodnej teplote viesť k zrýchlenému rastu mikroorganizmov a zmenám senzorických vlastností. Tradičný dátum minimálnej trvanlivosti pritom vychádza z predpokladaných, ideálnych skladovacích podmienok. Inteligentné systémy poskytujú možnosť hodnotiť skutočný stav výrobku v reálnych podmienkach distribúcie (Alizadeh et al., 2022). Princíp fungovania inteligentného balenia je schematicky znázornený na obrázku 1.



Obrázok 1: Princíp fungovania inteligentného balenia mlieka a mliečnych výrobkov – integrácia indikátorov, senzorov a dátových nosičov v dodávateľskom reťazci (Autor, 2026)

Typy inteligentného balenia používané v mliekarstve

Inteligentné balenie v mliekarstve nepredstavuje jednotnú technológiu, ale súbor rozdielnych riešení, ktorých spoločným cieľom je monitorovanie kvality a bezpečnosti výrobku počas distribúcie a skladovania. Jednotlivé systémy sa líšia mechanizmom detekcie aj typom sledovaného parametra. V praxi sa najčastejšie uplatňujú časovo-teplotné indikátory, indikátory čerstvosti, indikátory plynov, prvky signalizujúce porušenie obalu a elektronické senzory alebo dátové nosiče. Hoci tieto technológie možno klasifikovať samostatne, ich efektívnosť sa často zvyšuje kombináciou viacerých prvkov. Výber konkrétneho riešenia závisí od typu výrobku, dĺžky distribučného reťazca a požadovanej úrovne kontroly kvality.

Tabuľka 1: Prehľad inteligentných baliacich systémov využívaných v mliekarstve (Autor, 2026)

Typ inteligentného prvku	Sledovaný parameter	Princíp funkcie	Príklady využitia v mliekarstve	Hlavné výhody	Obmedzenia
Časovo-teplotný indikátor (TTI)	Čas a teplota	Kumulatívna chemická alebo enzymatická reakcia	Pasterizované mlieko, jogurty	Kontrola chladiaceho reťazca	Nepriama informácia o kvalite
Indikátor čerstvosti	pH, metabolity	Farebná zmena	Jogurty, fermentované výrobky	Priama informácia o stave	Vyššie náklady
Indikátor kyslíka	O ₂	Reakcia na prítomnosť kyslíka	Syry v MAP	Detekcia porušenia obalu	Obmedzená citlivosť
Indikátor CO ₂	CO ₂	Zmena indikátora	Fermentované výrobky	Monitorovanie procesov	Nepriama informácia
Senzory / biosenzory	pH, plyny	Elektronická/biologická detekcia	Tekuté mlieko	Vysoká presnosť	Cena, technická náročnosť

Časovo-teplotné indikátory (TTI)

Časovo-teplotné indikátory patria medzi najrozšírenejšie a zároveň technologicky najjednoduchšie prvky inteligentného balenia. Ich funkcia je založená na kumulatívnom zaznamenávaní teplotnej histórie výrobku, pričom vizuálna odozva indikátora koreluje s degradačnými procesmi prebiehajúcimi v potravine (Alizadeh et al., 2022). V mliekarstve nachádzajú TTI uplatnenie najmä pri pasterizovanom mlieku, smotane, jogurtoch a čerstvých syroch. Ide o produkty, ktorých kvalita je výrazne ovplyvnená aj krátkodobými teplotnými výkyvmi. V porovnaní s fixne stanoveným dátumom spotreby umožňujú TTI pružnejšie hodnotenie skutočnej trvanlivosti výrobku, pretože zohľadňujú reálne podmienky počas distribúcie (Alizadeh et al., 2022).

Komerčné aplikácie týchto systémov sú už dnes dostupné. Indikátory Timestrip® slúžia na monitorovanie chladiaceho reťazca pri chladených mliečnych výrobkoch, pričom poskytujú jednoduchú vizuálnu informáciu o kumulatívnom teplotnom zaťažení. Podobne indikátor Fresh-Check® (Temptime Corporation) pracuje na princípe teplotne citlivej polymérnej reakcie a signalizuje teplotné zneužitie počas distribúcie (Yam et al., 2005; Heising et al., 2014).

Napriek svojej praktickosti však TTI poskytujú nepriamu informáciu o kvalite. Signalizujú teplotnú históriu, nie samotný mikrobiologický stav výrobku. Ich interpretácia preto predpokladá znalosť vzťahu medzi teplotou a kinetikou degradácie konkrétneho produktu. V tomto smere predstavujú kompromis medzi jednoduchosťou použitia a presnosťou hodnotenia.

Indikátory čerstvosti

Na rozdiel od časovo-teplotných indikátorov, ktoré reagujú nepriamo prostredníctvom sledovania teplotnej histórie, indikátory čerstvosti sa snažia zachytiť samotné chemické alebo biologické zmeny prebiehajúce v potravine. Najčastejšie reagujú na zmeny pH alebo na prítomnosť metabolitov vznikajúcich pri mikrobiálnom raste, ako sú prchavé bázičné zlúčeniny či organické kyseliny (Mohebi a Marquez, 2015).

V kontexte mliečnych výrobkov sa ich využitie javí ako obzvlášť vhodné pri fermentovaných produktoch a zrejúcich syroch, kde je dynamika mikrobiálnych procesov prirodzenou súčasťou výrobku. Indikátor

čerstvosti tak nehodnotí iba čas od výroby, ale reflektuje aktuálny biologický stav produktu (Heising et al., 2014). Tento prístup predstavuje posun smerom k individualizovanému hodnoteniu kvality.

Treba však zdôrazniť, že citlivosť indikátora musí byť presne kalibrovaná na konkrétny typ výrobku. Rovnaký systém nemusí reagovať adekvátne pri produktoch s rozdielnou mikrobiálnou flórou alebo rozdielnym pH. V tomto smere je vývoj indikátorov čerstvosti úzko spätý s detailným poznaním kinetiky zmien konkrétnej potraviny.

Mikrobiálne indikátory

Mikrobiálne indikátory možno považovať za špecifickú podskupinu indikátorov čerstvosti, ktorých cieľom je čo najpriamejšie zachytiť produkty metabolizmu mikroorganizmov. Reagujú predovšetkým na zmeny pH, tvorbu oxidu uhličitého alebo akumuláciu prchavých dusíkatých látok, ktoré korelujú s nárastom celkového počtu mikroorganizmov (TVC) (Heising et al., 2014; Alizadeh et al., 2022).

V prípade mlieka demonštrovali praktickú aplikáciu takéhoto systému Cavallo et al. (2014), ktorí pripravili indikátor skazenia adsorbovaný na modifikovanom polypropylénovom filme. Zmena farby indikátora bola v štúdiu preukázateľne spojená so zhoršením senzorických vlastností a s nárastom mikrobiálnej populácie. Tento výsledok poukazuje na potenciál mikrobiálnych indikátorov ako relatívne presného nástroja hodnotenia kvality. Na druhej strane, implementácia takýchto systémov v praxi vyžaduje dôslednú kalibráciu a validáciu pre každý konkrétny produkt. Mikroflóra mliečnych výrobkov je variabilná a jej dynamika závisí od viacerých faktorov vrátane teploty, typu spracovania a balenia. Bez adekvátneho nastavenia citlivosti môže indikátor reagovať predčasne alebo naopak oneskorene, čo by znižovalo jeho praktickú využiteľnosť.

V porovnaní s TTI poskytujú mikrobiálne indikátory bezprostrednejšiu informáciu o biologickom stave výrobku. Zároveň však kladú vyššie nároky na technologickú presnosť a validáciu systému (Alizadeh et al., 2022).

Indikátory plynu a neporušenosti obalu

Zmeny v koncentrácii plynov vo vnútornom prostredí obalu môžu predstavovať citlivý indikátor prebiehajúcich degradačných procesov alebo narušenia integrity balenia. V mliečnych výrobkoch, najmä pri syroch a fermentovaných produktoch, dochádza počas skladovania k produkcii oxidu uhličitého alebo iných plyných metabolitov, ktorých akumulácia môže signalizovať mikrobiálnu aktivitu (Heising et al., 2014).

Indikátory plynu reagujú najčastejšie na kyslík alebo oxid uhličitý. Zmena farby indikátora môže poukazovať na porušenie obalu alebo na únik modifikovanej atmosféry, čo je obzvlášť významné pri produktoch balených v MAP systéme. Takéto riešenia poskytujú jednoduchú, vizuálne interpretovateľnú informáciu bez potreby špecializovaného vybavenia.

Treba však rozlišovať medzi signalizáciou porušenia obalu a signalizáciou skazenia výrobku. Zatiaľ čo indikátor kyslíka môže odhaliť netesnosť balenia, nemusí nutne znamenať, že produkt je mikrobiologicky nevyhovujúci. Interpretácia týchto systémov preto vyžaduje pochopenie súvislosti medzi fyzikálnym stavom obalu a biologickým stavom potraviny (Dainelli et al., 2008).

Z praktického hľadiska sú indikátory integrity obalu relatívne jednoduché na implementáciu. Ich širšie využitie však závisí od ekonomickej efektívnosti a od miery, do akej pridaná informácia zvyšuje hodnotu výrobku v očiach spotrebiteľa.

Senzory a biosenzory

Elektronické senzory a biosenzory predstavujú technologicky najpokročilejšiu kategóriu inteligentného balenia. Na rozdiel od jednoduchých farebných indikátorov umožňujú kvantitatívne meranie vybraných

parametrov, ako sú koncentrácie plynov, prítomnosť špecifických metabolitov alebo mikrobiálnych produktov (Neethirajan, 2018).

V mliekarstve sa výskum v tejto oblasti zameriava najmä na detekciu zlúčenín súvisiacich so skazením, ako sú prchavé amíny či zmeny pH. Biosenzory využívajú biologicky aktívne prvky – napríklad enzýmy alebo mikroorganizmy – ktoré reagujú špecificky na cieľovú látku. Takýto prístup môže priniesť vyššiu presnosť v porovnaní s konvenčnými indikátormi (Mohebi a Marquez, 2015).

Napriek technologickému potenciálu zostáva implementácia týchto systémov v komerčnej praxi obmedzená. Elektronické komponenty zvyšujú cenu obalu a komplikujú jeho recyklovateľnosť. Okrem toho je potrebné zabezpečiť stabilitu senzora počas celej doby skladovania výrobku. Tieto faktory predstavujú významnú bariéru širšieho rozšírenia biosenzorov v segmente bežných mliečnych výrobkov.

Z dlhodobého hľadiska však možno očakávať, že digitalizácia potravinového reťazca a pokles nákladov na mikroelektroniku podporia ich širšie využitie. Integrácia senzorov s RFID technológiami by mohla umožniť kontinuálne monitorovanie kvality počas celej distribúcie (Dabbene et al., 2014).

Dátové nosiče a systémy sledovateľnosti

Popri indikátoroch a senzoroch zohrávajú v koncepte inteligentného balenia významnú úlohu aj dátové nosiče a systémy sledovateľnosti. Ich funkcia nespočíva v hodnotení kvality samotnej potraviny, ale v zaznamenávaní a prenose informácií o jej pôvode, pohybe a podmienkach distribúcie. V tomto smere predstavujú prepojenie medzi fyzickým výrobkom a digitálnym informačným systémom.

Technológie RFID umožňujú bezkontaktnú identifikáciu výrobkov a automatizovaný zber údajov v rámci distribučného reťazca (Barge et al., 2014). V mliekarstve sa využívajú najmä pri sledovaní šarží a optimalizácii logistiky. Výhodou je rýchlosť a presnosť spracovania dát, čo znižuje riziko administratívnych chýb a zvyšuje transparentnosť pohybu výrobkov.

Z pohľadu riadenia kvality však samotná identifikácia výrobku nepostačuje. Efektívnosť systémov sledovateľnosti narastá vtedy, keď sú prepojené s údajmi o teplote, čase skladovania alebo iných relevantných parametroch. Takýto integrovaný prístup umožňuje nielen dohľadateľnosť pôvodu, ale aj spätné vyhodnotiť podmienky, ktorým bol výrobok vystavený (Dabbene et al., 2014).

Treba však konštatovať, že zavedenie komplexných sledovacích systémov je technologicky a organizačne náročné. Vyžaduje koordináciu medzi výrobcami, distribútormi a maloobchodom. Ich prínos preto závisí od miery integrácie v celom dodávateľskom reťazci, nie iba od technickej úrovne samotného obalu.

Výhody a limity inteligentného balenia

Inteligentné balenie prináša možnosť prehodnotiť spôsob, akým sa posudzuje kvalita potravín počas distribúcie. Namiesto fixne stanoveného dátumu minimálnej trvanlivosti umožňuje sledovať reálne podmienky skladovania a reagovať na odchýlky. Tento prístup môže byť prínosný najmä pri mliečnych výrobkoch, kde aj krátkodobé narušenie chladiaceho reťazca ovplyvňuje mikrobiologickú stabilitu (Heising et al., 2014; Alizadeh et al., 2022).

Za jednu z hlavných výhod možno považovať potenciál zníženia potravinových strát. Ak je výrobok skladovaný v optimálnych podmienkach, inteligentný systém môže potvrdiť jeho bezpečnosť aj po prekročení konzervatívne stanoveného dátumu. Na druhej strane dokáže identifikovať situácie, keď je kvalita narušená ešte pred uplynutím deklarovanej trvanlivosti.

Napriek tomu nemožno prehliadať praktické limity. Technologická presnosť indikátorov musí byť prispôbená konkrétnemu výrobku. Univerzálne riešenia v tejto oblasti prakticky neexistujú. Navyše, interpretácia vizuálnych alebo digitálnych signálov závisí od informovanosti používateľa. Dainelli et al.

(2008) upozorňujú, že bez adekvátnej komunikácie môže nesprávne pochopenie funkcie indikátora znižovať dôveru spotrebiteľa.

Ekonomický aspekt zohráva rovnako významnú úlohu. V segmente základných mliečnych výrobkov je cenová citlivosť vysoká a dodatočné náklady spojené s implementáciou inteligentných prvkov môžu obmedziť ich širšie využitie. Reálne uplatnenie týchto technológií preto závisí od rovnováhy medzi pridanou hodnotou a finančnou náročnosťou.

Perspektívy a budúce trendy

Budúci vývoj inteligentného balenia v mliekarstve bude pravdepodobne smerovať k integrácii viacerých technológií do jedného funkčného systému. Kombinácia indikátorov, senzorov a dátových nosičov môže umožniť komplexné monitorovanie výrobku od výroby až po spotrebiteľa. Zároveň sa čoraz výraznejšie presadzuje požiadavka udržateľnosti. Obalové systémy budú musieť spĺňať nielen technologické kritériá, ale aj environmentálne nároky. Marsh a Bugusu (2007) poukazujú na potrebu minimalizovať materiálovú záťaž a podporovať recyklovateľnosť obalov. Integrácia inteligentných prvkov do ekologických materiálov tak predstavuje jednu z hlavných výziev budúcnosti.

Digitalizácia potravinového reťazca môže navyše premeniť inteligentné balenie z pasívneho informačného prvku na súčasť dynamického systému riadenia kvality. Prepojenie senzorických údajov s databázami a logistickými platformami by umožnilo priebežné vyhodnocovanie rizík a efektívnejšie riadenie distribúcie. Otvorenou otázkou však zostáva miera akceptácie spotrebiteľmi. O'Callaghan a Kerry (2016) zdôrazňujú, že dôvera a pochopenie funkcie inteligentných systémov sú kľúčové pre ich úspešné zavedenie. Budúci výskum by sa preto mal zamerať nielen na technologické inovácie, ale aj na komunikáciu ich prínosov.

ZÁVER

Vývoj obalových technológií v mliekarstve odráža širší trend transformácie potravinového sektora smerom k vyššej bezpečnosti, sledovateľnosti a efektívnejšiemu riadeniu kvality. Zatiaľ čo tradičné obalové materiály plnia primárne ochrannú funkciu, moderné systémy rozširujú túto úlohu o aktívnu alebo monitorovaciu zložku. Modifikovaná atmosféra a aktívne balenie sú dnes technologicky etablované riešenia, ktorých prínos bol opakovane potvrdený v praxi. Inteligentné balenie ide o krok ďalej – neposkytuje iba bariéru, ale aj informáciu. V kontexte mliečnych výrobkov, kde je kvalita úzko previazaná s teplotou a mikrobiálnou stabilitou, môže mať takýto prístup zásadný význam. Zároveň však nemožno prehliadať limity týchto technológií. Ekonomická náročnosť, potreba presnej kalibrácie indikátorov a otázky spotrebiteľskej akceptácie predstavujú faktory, ktoré budú určovať tempo ich širšieho rozšírenia. Technologická inovatívnosť sama osebe totiž negarantuje komerčný úspech. Budúcnosť inteligentného balenia v mliekarstve bude pravdepodobne závisieť od schopnosti prepojiť funkčnosť, udržateľnosť a cenovú dostupnosť. Ak sa podarí dosiahnuť rovnováhu medzi týmito aspektmi, inteligentné systémy môžu významne prispieť k redukcii potravinových strát a k transparentnejšiemu hodnoteniu kvality výrobkov počas celej distribučnej fázy.

POĎAKOVANIE

Príspevok vznikol s podporou grantového projektu KEGA č. 016SPU-4/2025.

LITERATÚRA

Alizadeh, A. M., Masoomian, M., Shakooie, M., Zabihzadeh Khajavi, M., Farhoodi, M. (2022): Trends and applications of intelligent packaging in dairy products: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(2), 383–397. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1817847>

- Alvarez, V., Pascall, M. A. (2011): Food packaging and shelf life. In M. L. Rooney (Ed.), *Food packaging and shelf life* (pp. 1–24). CRC Press.
- Barge, P., Gay, P., Merlino, V., Tortia, C. (2014): Item-level radio-frequency identification for the traceability of food products: Application on a dairy product. *Journal of Food Engineering*, 125, 119–130. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.10.019>
- Cavallo, J. A., Strumia, M. C., Gomez, C. G. (2014): Preparation of a milk spoilage indicator adsorbed to a modified polypropylene film as an attempt to build a smart packaging. *Journal of Food Engineering*, 136, 48–55. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2014.03.021>
- Conte, A., Longano, D., Costa, C., Ditaranto, N., Ancona, A., Cioffi, N., Scrocco, C., Sabbatini, L., Contò, F., Del Nobile, M. A. (2013): A novel preservation technique applied to fiordilatte cheese. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 19, 158–165. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2013.04.010>
- Dabbene, F., Gay, P., Tortia, C. (2014): Traceability issues in food supply chain management: A review. *Biosystems Engineering*, 120, 65–80. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2013.09.006>
- Dainelli, D., Gontard, N., Spyropoulos, D., Zondervan-van den Beuken, E., Tobback, P. (2008): Active and intelligent food packaging: Legal aspects and safety concerns. *Trends in Food Science and Technology*, 19(Suppl. 1), S103–S112. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2008.09.011>
- Duncan, T. V. (2011): Applications of nanotechnology in food packaging and food safety: Barrier materials, antimicrobials and sensors. *Journal of Colloid and Interface Science*, 363(1), 1–24. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2011.07.017>
- Garabal, J. I., Rodríguez-Alonso, P., Franco, D., Centeno, J. A. (2010): Chemical and biochemical study of industrially produced San Simón da Costa smoked semi-hard cow's milk cheeses: Effects of storage under vacuum and different modified atmospheres. *Journal of Dairy Science*, 93(5), 1868–1881. Dostupné z: <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2749>
- Gopirajah, R., Anandharamakrishnan, C. (2017): Packaging of dried dairy products. In C. Anandharamakrishnan (Ed.), *Handbook of drying for dairy products* (pp. 229–248). Wiley Blackwell.
- Haghighi-Manesh, S., Azizi, M. H. (2017): Active packaging systems with emphasis on its application in dairy products. *Journal of Food Process Engineering*, 40(5), e12542. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/jfpe.12542>
- Heising, J. K., Dekker, M., Bartels, P. V., van Boekel, M. A. J. S. (2014): Monitoring the quality of perishable foods: Opportunities for intelligent packaging. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 54(5), 645–654. Dostupné z: <https://doi.org/10.1080/10408398.2011.600477>
- Marsh, K., Bugusu, B. (2007): Food packaging—Roles, materials, and environmental issues. *Journal of Food Science*, 72(3), R39–R55. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2007.00301.x>
- Mohebi, E., Marquez, L. (2015): Intelligent packaging in meat industry: An overview of existing solutions. *Journal of Food Science and Technology*, 52(7), 3947–3964. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1588-z>
- Neethirajan, S. (2018): Biosensors for Sustainable Food Engineering: Challenges and Perspectives. *Biosensors*, 8(1), 23. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/bios8010023>
- O'Callaghan, K. A. M., Kerry, J. P. (2016): Consumer attitudes towards the application of smart packaging technologies to cheese products. *Food Packaging and Shelf Life*, 9, 1–9. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2016.05.001>

Robertson, G. L. (2006): Food packaging: Principles and practice (2nd ed.). CRC Press.

Ščetar, M., Barukčič, I., Kurek, M., Lisak Jakopović, K., Božanić, R., Galić, K. (2019): Packaging perspective of milk and dairy products. *Mljekarstvo – Dairy Experts Journal*, 69(1), 3–20. Dostupné z: <https://doi.org/10.15567/mljekarstvo.2019.0101>

Yam, K. L., Takhistov, P. T., Miltz, J. (2005): Intelligent packaging: Concepts and applications. *Journal of Food Science*, 70(1), R1–R10. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.tb09052.x>

Kontaktná adresa: Mgr. Ing. Adriana Pavelková, PhD., Ústav potravinárstva, Fakulta biotechnológie a potravinárstva, Slovenská poľnohospodárska univerzita, Tr. A. Hlinku 2, 949 76 Nitra, e-mail: adriana.pavelkova@uniag.sk