

# TRENDY v potravinářství

číslo 1/2026

ročník 31





Kontinuálny prietokový analyzátor SKALAR

Na obálke:

**Nové prístroje obstarané v rámci projektu REPowerEU**

← Na prednej strane:

Kontinuálny prietokový analyzátor SKALAR na automatizovanú chemickú analýzu veľkého počtu vzoriek na princípe spektrofotometrických meraní (stanovenie amoniaku, fosfátov, dusitanov, dusičnanov, celkového dusíka a pod.)

# TRENDY V POTRAVINÁRSTVE

Ročník 31, 2026, č. 1

## Registrácia

ISSN 1336-085X (tlačené vydanie)

ISSN 2989-3844 (online)

EV 5999/21

EV 307/24/EPP

## Vydáva

Národné poľnohospodárske

a potravinárske centrum

Odbor potravinárstva

Priemyselná 4

82108 Bratislava

IČO 42337402

Tel.: 02/50237036

E-mail: riaditel.vup@nppc.sk

www.vup.sk

www.nppc.sk

## Redakčná rada

Ing. Martin Polovka, PhD.

Ing. Stanislav Baxa, PhD.

Ing. Eva Kačíková, CSc.

Ing. Blanka Tobolková, PhD.

RNDr. Lenka Bartošová, PhD.

RNDr. Marcela Matulová

## Redakcia:

Ing. Zuzana Lichnerová

Vychádza 2x ročne.

Vyšlo v júni 2026.

Za správnosť a zrozumiteľnosť jednotlivých príspevkov sú zodpovední autori.

## NEPREDAJNÉ



## OBSAH

„Clean label“ v Európskej únii: trend bez jednotnej definície Bartošová, L. – Porubská, J.	3
Inovatívna obalová fólia na predĺženie trvanlivosti čerstvých produktov Skláršová, B.	5
Senzorické technológie pro hodnocení dozrávání ovoce: nové přístupy a trendy Tobolková, B. – Zhang, X.	7
Ako spoľahlivo stanoviť nízke hodnoty akrylamidu: medzinárodný kruhový test Kukurová, K. – Ciesarová, Z.	11
Bakemeter ako rýchly nástroj na identifikáciu akrylamidu v extrudovaných snackoch Ciesarová, Z. – Kukurová, K.	13
Aplikácia pediocínu na kontrolu <i>Listeria monocytogenes</i> v potravinách Véghová, A.	16
Aktuálne výzvy v oblasti mikrobiologickej bezpečnosti potravín Kačíková, E.	19
Časová a priestorová distribúcia identických typov <i>Listeria monocytogenes</i> vo výrobe syrov Koreňová, J. – Rešková, Z.	23
Mikrobiologická kontaminácia vzduchu v potravinárskych prevádzkach Minarovičová, J.	25
Kvantitatívna identifikácia živej mikrobioty v potravinách Rešková, Z.	30
Zvinutka – vírusové ochorenie viniča Jankura, E. – Ženišová, K.	33
Metoxypyrazíny a ich vplyv na arómu vína Kopuncová, M. – Kubincová, J.	36
Beta-glukány v jogurtoch potenciál využitia a detekcia pomocou enzymatických súprav Brežná, B.	39
REPowerEU v slovenskej praxi – Cestovná mapa obehového hospodárstva ako implementačný rámec rozvoja biometánu v SR Polovka, M. – Bezák, P.	43
Plán seminárov Odboru potravinárstva NPPC 2026	48

## ÚVODNÍK

Potravinárstvo dnes čelí súbehu viacerých výziev – rastúcim očakávaniam spotrebiteľov, tlaku na udržateľnosť, sprísňujúcim sa bezpečnostným požiadavkám a zároveň potrebe technologickej efektivity. Celé to rámčuje téma zužitkovania zdrojov a cirkularity.

Aktuálne číslo už 31. ročníka Trendov v potravinárstve prináša prierez tém, ktoré odzrkadľujú tento komplexný vývoj – od spotrebiteľských trendov, ako je „clean label“, cez inovácie v oblasti obalov, senzoriky a rýchlej kontroly kvality, až po nové prístupy k mikrobiologickej bezpečnosti potravín.

Významná časť príspevkov dokumentuje posun od tradičných analytických a hygienických nástrojov k digitálnym, senzorickým a biologickým riešeniam, ktoré umožňujú rýchlejšie rozhodovanie, lepšiu prevenciu rizík a efektívnejšie riadenie výrobných procesov. Nechýbajú ani špecializované témy z oblasti vinohradníctva, funkčných potravín či moderných analytických metód.

Záverečná časť publikácie presahuje hranice samotného potravinárstva a poukazuje na jeho rastúcu úlohu v obehovom hospodárstve a energetickej transformácii, kde sa biomasu, bioodpad a biometán stávajú cennou surovinou a zároveň súčasťou širšieho systému potravinovej a energetickej bezpečnosti.

Veríme, že toto číslo poskytne čitateľom nielen prehľad aktuálnych trendov, ale aj konkrétne príklady ich praktickej aplikácie.

Prijemné a užitočné čítanie praje, Martin Polovka, zostavovateľ

## „CLEAN LABEL“ V EURÓPSKEJ ÚNII: TREND BEZ JEDNOTNEJ DEFINÍCIE

Lenka Bartošová – Janka Porubská

„Clean label“ predstavuje v Európskej únii rozšírený, no legislatívne nedefinovaný koncept v oblasti potravinárstva, ktorý je spojený so snahou o jednoduchšie a transparentnejšie zloženie výrobkov. Príspevok sa zameriava na vysvetlenie významu tohto pojmu, jeho rôzne interpretácie a postavenie v rámci európskej legislatívy. Poukazuje na rozdiel medzi marketingovým vnímaním „clean label“ a reálnymi zmenami v receptúrach potravín, ako aj na možné riziká zjednodušeného hodnotenia potravinových prísad. Zároveň zdôrazňuje význam informovaného spotrebiteľa a potrebu vnímať výživu v širšom kontexte.

V posledných rokoch sa v potravinárstve čoraz častejšie stretávame s pojmom „clean label“, ktorý odráža meniace sa očakávania spotrebiteľov aj prístup výrobcov k zloženiu potravín. Pojem „prirodzenejšie zloženie potravín“ v kontexte konceptu „clean label“ nemožno chápať jednoznačne, keďže ide o neformálne a legislatívne nedefinované označenie. Vo všeobecnosti však odráža dve vzájomne prepojené roviny.

Na jednej strane ide o spôsob komunikácie zloženia výrobku smerom k spotrebiteľovi. Ten zahŕňa používanie jednoduchších, zrozumiteľnejších a menej technicky znejúcich názvov zložiek, ako aj snahu o minimalizáciu počtu aditív uvádzaných na etikete. Tento prístup reaguje najmä na rastúcu citlivosť spotrebiteľov voči „chemickým“ pôsobiacim látkam a ich preferenciu transparentnosti. Vnímanie „prirodzenosti“ potravín je pritom do značnej miery subjektívne a ovplyvnené individuálnymi skúsenosťami, informáciami aj dôverou k výrobcovi. Na druhej strane pojem poukazuje aj na reálne zmeny v samotnej receptúre potravín. Ide najmä o obmedzovanie používania syntetických prídavných látok, ich nahrádzanie zložkami prírodného pôvodu a celkové zjednodušovanie zloženia výrobkov. Znižovanie počtu aditív však môže predstavovať aj technologickú výzvu, napríklad z hľadiska trvanlivosti, bezpečnosti alebo senzorických vlastností výrobkov. Z toho vyplýva, že požiadavka spotrebiteľov na „prirodzenejšie zloženie“ predstavuje kombináciu očakávaní týkajúcich sa kvality použitých surovín aj spôsobu ich prezentácie na obale. Nejde teda len o objektívnu vlastnosť potraviny, ale aj o subjektívne vnímanie spotrebiteľa, ktoré je ovplyvnené marketingovou komunikáciou a mierou dôvery v deklarované zloženie.

„Clean label“ možno vo všeobecnosti charakterizovať ako snahu výrobcov ponúkať produkty s krátkym zoznamom ingrediencií, bez umelých prísad, farbív či konzervantov, pričom dôraz sa kladie na transparentnosť a dôveryhodnosť. Dôležité však je, že neexistuje jednotná definícia toho, čo „clean label“ presne znamená. Výklad tohto pojmu sa preto môže líšiť medzi jednotlivými výrobcami aj trhmi. Je však dôležité zdôrazniť, že označenie „clean label“ automaticky neznamená, že ide o nutrične výhodnejší alebo zdravší výrobok.

V rámci Európskej únie sa „clean label“ uplatňuje najmä ako trhový a marketingový koncept, nie ako regulovaná kategória. Na rozdiel od označení ako „bio“ alebo „ekologický

**Lenka Bartošová, Janka Porubská**, Oddelenie potravinových databáz, Odbor potravinárstva, Sekcia vedy, výskumu a inovácií, Národné poľnohospodárske potravinárske centrum, Bratislava.

*Korešpondencia:*

RNDr. Lenka Bartošová, PhD., Odbor potravinárstva NPPC, Priemyselná 4, 82108 Bratislava.

E-mail: lenka.bartosova@nppc.sk

produkt“, ktoré podliehajú prísny legislatívnym pravidlám, „clean label“ nie je predmetom špecifickej regulácie. Európska legislatíva sa zameriava predovšetkým na bezpečnosť potravín, správne označovanie zložiek a ochranu spotrebiteľa pred zavádzajúcimi tvrdeniami. To znamená, že výrobcovia nesmú používať označenia naznačujúce „čistotu“ alebo „prirodzenosť“ spôsobom, ktorý by spotrebiteľa uvádzal do omylu. Aj bez jednotnej regulácie má „clean label“ v EÚ výrazný dopad na potravinársky priemysel. Výrobcovia čoraz častejšie reformulujú svoje produkty – napríklad nahrádzajú syntetické aditíva prírodnými alternatívami, skracujú zoznamy ingrediencií alebo menia technologické postupy. Tento trend je viditeľný naprieč rôznymi kategóriami potravín, od pekárenských výrobkov cez mliečne produkty až po hotové jedlá. Produkty spájané s konceptom „clean label“ môžu byť zároveň cenovo náročnejšie, čo môže ovplyvňovať ich dostupnosť pre rôzne skupiny spotrebiteľov.

Jedným z úskalí konceptu „clean label“ je zjednodušené vnímanie potravinových prísad ako „dobrých“ alebo „zlých“. V praxi totiž mnohé látky označované ako aditíva (tzv. „éčka“) majú prirodzený pôvod a sú bežnou súčasťou potravín. Napríklad kyselina askorbová (vitamín C, E300) alebo pektíny (E440) sa prirodzene vyskytujú v ovocí, no zároveň majú pridelené E-kódy a používajú sa aj ako technologické prísady. Ich prítomnosť na etikete preto automaticky neznamená nižšiu kvalitu či „neprirodzenosť“ produktu.

Zjednodušené odmietanie aditív bez zohľadnenia ich funkcie, bezpečnosti a množstva môže viesť k mylným záverom. Európska legislatíva povoľuje používanie potravinárskych prídavných látok až po dôkladnom posúdení ich bezpečnosti a stanovuje aj maximálne povolené množstvá. Preto je dôležité vnímať zloženie potravín komplexnejšie a nehodnotiť jednotlivé zložky izolovane, ale v kontexte celého produktu.

S konceptom „clean label“ úzko súvisí aj širší kontext rôznych systémov označovania potravín, ktoré sa v Európe postupne rozširujú. Ide napríklad o systém Nutri-Score (dobrovoľné označovanie výživovej hodnoty na prednej strane obalu), environmentálne označenia zohľadňujúce uhlíkovú stopu či rôzne výživové a zdravotné tvrdenia (napríklad „prospešné pre srdce“). Hoci tieto nástroje môžu spotrebiteľovi uľahčiť orientáciu, zároveň prinášajú riziko nadmerného zjednodušovania, keďže hodnotia potraviny podľa vybraných kritérií bez širšieho kontextu ich konzumácie.

V konečnom dôsledku by rozhodovanie o výbere potravín nemalo stáť výlučne na jednotlivých označeniach či marketingových tvrdeniach, ale predovšetkým na informovanosti spotrebiteľa. Výživa je komplexná oblasť, v ktorej neexistujú univerzálne „dobré“ alebo „zlé“ potraviny – rozhodujúce je najmä množstvo, frekvencia konzumácie, celkový životný štýl a individuálne potreby. Práve edukácia a schopnosť kriticky vyhodnocovať dostupné informácie zohrávajú kľúčovú úlohu pri zodpovednom výbere potravín. Dôležitú úlohu pritom zohráva aj schopnosť rozlišovať medzi marketingovým označením a skutočnými vlastnosťami výrobku.

„Clean label“ tak možno vnímať ako jeden z výrazných trendov, ktorý ovplyvňuje vývoj potravinárskeho trhu aj správanie spotrebiteľov. Napriek jeho popularite však nejde o jednoznačne definovaný ani univerzálne aplikovateľný prístup. Popri ňom existujú aj ďalšie smery, napríklad dôraz na minimálne spracované potraviny či naopak pretrvávajúca spotreba vysoko spracovaných výrobkov. V konečnom dôsledku preto zohráva rozhodujúcu úlohu samotný spotrebiteľ, ktorý si svoje preferencie formuje na základe viacerých faktorov, ako sú cena, dostupnosť, chuť, dôvera či individuálne potreby. Výber potravín tak nemožno redukovať na jedno označenie alebo trend, ale je výsledkom komplexného rozhodovania v kontexte každodenného života.

### Podakovanie

Táto práca vznikla v rámci projektu ÚOP č.16 „Informačný systém o cudzorodých látkach v potravinách a o zložení potravín“, podporovaného Ministerstvom pôdohospodárstva a rozvoja vidieka SR, kontrakt medzi MPRV SR a NPPC č. 1299/2025/MPRVSR-930.

## INOVATÍVNA OBALOVÁ FÓLIA NA PREDĽŽENIE TRVANLIVOSTI ČERSTVÝCH PRODUKTOV

Božena Skláršová

V posledných rokoch rastie dôraz na udržateľnosť v potravinárstve. To prináša potrebu nových obalových riešení, ktoré dokážu predĺžiť trvanlivosť čerstvých produktov a znížiť ich kazenie. Jedným z moderných riešení sú priedušné obalové fólie. Tie dokážu regulovať atmosféru a vlhkosť v balení, čím pomáhajú obmedzovať potravinový odpad a zároveň znižovať dopad na životné prostredie. Vďaka nim si ovocie, zelenina, či kvety zachovávajú kvalitu počas skladovania aj prepravy.

Inovatívna obalová fólia pre čerstvé produkty je výsledkom spolupráce nemeckej firmy venujúcej sa vývoju špeciálnych elastomérov a technických polymérov s vysokou priedušnosťou, a holandskej firmy, ktorá je známa svojimi laserovými systémami na mikroperforáciu obalových materiálov a technológiami riadenej atmosféry. Táto fólia dokáže sama vytvoriť vyváženú atmosféru vo vnútri balenia, takže nie je potrebné používať klasické modifikované atmosférické balenie. Výsledkom je dlhšia trvanlivosť a zachovanie čerstvosti ovocia, zeleniny aj rezaných kvetov.

### Ako priedušná fólia funguje

Fólia je vyrobená zo špeciálneho pružného materiálu (termoplastického kopolyesterového elastoméru), ktorý sa vyznačuje vysokou mechanickou odolnosťou, pružnosťou a priepustnosťou pre plyny a vodnú paru. V kombinácii s presnou mikroperforáciou dokáže regulovať pomer kyslíka a oxidu uhličitého v balení tak, aby atmosféra zodpovedala prirodzenému „dýchaniu“ čerstvého produktu.

Takto vytvorená atmosféra s nízkym obsahom kyslíka spomaľuje metabolické procesy rastlinných tkanív, obmedzuje rast aeróbnych mikroorganizmov a znižuje intenzitu oxidačných reakcií, ktoré vedú k strate farby, textúry či nutričných vlastností. Zároveň umožňuje odvádzanie prebytočnej vlhkosti, čím zabraňuje kondenzácii a vzniku plesní. Na Obr. 1 je znázornená schéma fungovania priedušnej fólie – rovnováha plynov, únik prebytočnej vlhkosti, mikroperforácia.

### Dôležitosť regulácie vlhkosti a atmosféry

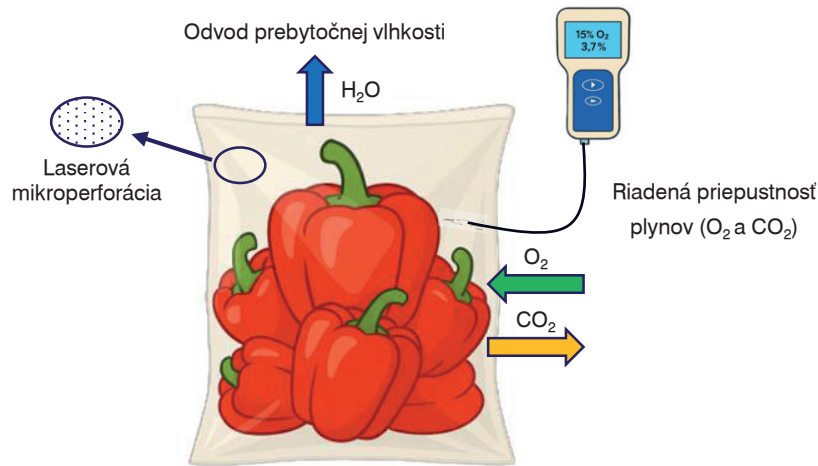
Jednou z kľúčových vlastností tejto technológie je schopnosť vytvárať rovnováhu medzi únikom prebytočnej vlhkosti a zachovaním prirodzenej hydratácie produktu. Nadbytočná para sa odvádza von, no produkt si zároveň udržiava prirodzenú šťavnatosť. To je obzvlášť dôležité pri balení citlivých produktov, ako sú šaláty, kapusta, papriky alebo rezané kvety, ktoré veľmi citlivo reagujú na zmenu vlhkostných podmienok. Vďaka tomu zostáva povrch suchý (nižšie riziko plesní), ale produkt nevysychá.

**Božena Skláršová**, Oddelenie chémie a analýzy potravín, Odbor potravinárstva, Sekcia vedy, výskumu a inovácií, Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum, Bratislava.

*Korešpondencia:*

Ing. Božena Skláršová, PhD., Odbor potravinárstva NPPC, Priemyselná 4, 82108 Bratislava.

E-mail: bozena.sklarsova@nppc.sk



Obr. 1. Mechanizmus fungovania priedušnej fólie.

### Overené výsledky v praxi

Táto technológia už bola aplikovaná v praxi, predovšetkým pri veľkých obaloch, prepravných kontajneroch a paletových krytoch. V týchto prípadoch sa osvedčila najmä stabilita atmosféry v čase a odolnosť voči mechanickému poškodeniu:

- **Paprika:** trvanlivosť sa predĺžila až štvornásobne, bez zmeny farby či hmotnosti po dvoch týždňoch skladovania pri 8 °C.
- **Rezané kvety (pivonkové ruže):** vydržali skladované až 14 týždňov bez prejavov starnutia.
- **Jahody a bobuľové ovocie:** potvrdená lepšia ochrana pred vlhkosťou a kazením.

Fólia je certifikovaná pre styk s potravinami, neobsahuje geneticky upravené zložky a je plne recyklovateľná. Vďaka tomu spĺňa požiadavky pre ekologicky orientované distribučné reťazce.

### Prínosy pre logistiku a udržateľnosť

Predĺženie trvanlivosti čerstvých produktov priamo ovplyvňuje možnosti ich transportu. Dlhšia trvanlivosť znamená aj viac možností prepravy. Produkty balené v tejto fólii je možné prepravovať pomalšími, energeticky menej náročnými spôsobmi, napríklad leteckú prepravu je možné nahradiť prepravou námornou. Zníženie uhlíkovej stopy pri zmene typu transportu môže predstavovať pokles o 80–90 %, pričom logistické náklady môžu klesnúť až o 70–90 %.

### Boj proti plytvaniu potravinami

Podľa správy o indexe potravinového odpadu z roku 2024, ktorú zverejnil Program OSN pre životné prostredie (UNEP), sa približne tretina celosvetovo vyrobených potravín nikdy nespotrebuje. Tento odpad predstavuje obrovské plytvanie zdrojmi aj významný zdroj emisií skleníkových plynov. Taktiež Organizácia OSN pre výživu a poľnohospodárstvo (FAO) odhaduje, že potravinový odpad prispieva ku globálnemu otepľovaniu tým, že emituje približne 4,4 miliardy ton skleníkových plynov ročne.

Predĺženie trvanlivosti pomocou moderných obalov znižuje množstvo vyhodnených potravín, šetrí vody, energiu aj prácu a pomáha chrániť klímu. Moderné obalové riešenia tak zohrávajú dôležitú úlohu pri budovaní udržateľného potravinového reťazca. Najlepší spôsob, ako zachovať výrobky čerstvé, je vyvinúť obaly, ktoré sú vysoko funkčné a udržateľné.

Predstavená priedušná obalová fólia predstavuje účinné a udržateľné riešenie na predĺženie trvanlivosti čerstvých produktov, znižovanie ich znehodnocovania a obmedzenie potravinového odpadu počas distribúcie. Technológia založená na regulácii atmosféry a vlhkosti zároveň umožňuje ekologickejšie logistické postupy a znižovanie uhlíkovej stopy. Ide o riešenie, ktoré reflektuje globálne trendy v potravinárstve a prispieva k rozvoju udržateľného potravinového reťazca.

Problematike moderných obalových materiálov, ich interakciám s potravinami a možnostiam eliminácie kontaminantov z potravín migráciou do obalových materiálov sa dlhodobo venuje aj Národné poľnohospodárske potravinárske centrum – Odbor potravinárstva (NPPC-OP, predtým Výskumný ústav potravinársky). Pracovisko taktiež disponuje zariadeniami na meranie priepustnosti kyslíka a vodnej pary cez fólie.

NPPC-OP nie je cudzia ani problematika potravinového odpadu a jeho monitoringu. Jeho odborníci pracujú na kvantifikácii potravinového odpadu, aby poskytli presné dáta potrebné pre tvorbu efektívnych stratégií na národnej úrovni. Výskumné projekty NPPC-OP sa zameriavajú na hľadanie inovatívnych riešení pre zníženie plytvania v celom potravinovom reťazci – od poľnohospodárskej prvovýroby až po spotrebiteľa.

#### Podakovanie

Táto publikácia vznikla v rámci projektu PVV 12 „Rozpracovanie postupov kvantifikácie tvorby odpadov z potravín vo vybraných segmentoch potravinového reťazca“, podporovaného Ministerstvom pôdohospodárstva a rozvoja vidieka SR, kontrakt medzi MPRV SR a NPPC č. 1299/2025/MPRVSR-930.

## SENZORICKÉ TECHNOLOGIE PRO HODNOCENÍ DOZRÁVÁNÍ OVOCE: NOVÉ PŘÍSTUPY A TRENDY

Blanka Tobolková – Xiaoshuan Zhang

Senzorické hodnocení kvality potravin představuje dlouhodobě klíčový nástroj pro kontrolu jakosti v potravinářství. Tradičně bylo založeno na lidském vnímání, tedy na posuzování chuti, vůně, barvy či textury. Tyto přístupy však vykazují značnou míru subjektivity a omezenou reprodukovatelnost výsledků, častokrát jsou destruktivní. V posledních letech proto dochází k výraznému rozvoji převážně nedestruktivních senzorických technologií, které umožňují objektivní, rychlé a opakovatelné hodnocení kvality. Tento trend se výrazně uplatňuje zejména v oblasti ovoce, kde je správné určení stupně zralosti zásadní pro logistiku, skladování i konečnou kvalitu produktu.

Potravinářský průmysl prochází digitální transformací, kde klíčovou roli hraje precizní sběr dat přímo z výrobních a skladovacích procesů. U čerstvého ovoce je tento posun o to naléhavější, protože se jedná o „živý“ produkt s proměnlivou fyziologií. Tradiční metody určování zralosti, jako je penetrometrie (měření tuhosti dužiny destrukcí vzorku) nebo refraktometrie

**Blanka Tobolková**, Oddelenie chémie a analýzy potravín, Odbor potravinárstva, Sekcia vedy, výskumu a inovácií, Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum, Bratislava.

**Xiaoshuan Zhang**, College of Engineering, China Agricultural University, Peking, Čína.

*Korešpondencia:*

Ing. Blanka Tobolková, PhD., Odbor potravinárstva NPPC, Priemyselná 4, 82108 Bratislava.

E-mail: blanka.tobolkova@nppc.sk

(měření obsahu cukrů ze šťávy), sice poskytují přesné výsledky, ale mají zásadní nevýhodu: vzorek je při měření znehodnocen.

Současným trendem je proto přechod k nedestruktivním metodám hodnocení kvality. Tyto přístupy umožňují analyzovat fyzikální i chemické vlastnosti plodů bez jejich poškození. Kromě toho poskytují rychlé, přesné a reprodukovatelné údaje – umožňují sledovat celou šarži zboží v reálném čase, čímž zásadně mění strategii řízení zásob z modelu „první dovnitř, první ven“ (FIFO) na efektivnější model „první k expiraci, první ven“ (FEFO).

Moderní nedestruktivní techniky zahrnují optické, akustické, elektromagnetické i chemické metody. Jejich výhodou je nejen zachování integrity produktu, ale také možnost kontinuálního měření v reálném čase. Výzkumy ukazují, že kombinace těchto metod s pokročilým zpracováním signálu významně zvyšuje přesnost detekce a snižuje vliv šumu a interferencí.

### Optické a spektroskopické technologie

Optické metody patří mezi nejrozšířenější nástroje pro hodnocení zrání ovoce. Využívají interakci světla s materiálem plodu, zejména absorpci, rozptyl a reflexi, k získání informací o jeho vnitřní struktuře a chemickém složení.

Nejvýznamnějšími technologiemi jsou:

- blízká infračervená spektroskopie (NIR),
- hyperspektrální zobrazování (HSI),
- strojové vidění.

Tyto metody umožňují predikci obsahu cukrů, kyselin, vody i fenolických látek. V kombinaci s chemometrickými metodami a neuronovými sítěmi dosahují velmi vysoké přesnosti a jsou vhodné pro online aplikace. Významným trendem je zpracování hyperspektrálních dat pomocí umělé inteligence, která umožňuje extrahovat relevantní informace z velkých datových souborů a klasifikovat jednotlivé fáze zrání s vysokou spolehlivostí.

Dnešní trh nabízí kompaktní ruční spektrometry, které jsou propojeny s mobilními aplikacemi využívajícími algoritmy strojového učení. Pracovník ve skladu může pouhým přiložením přístroje k jablku okamžitě zjistit jeho index zralosti, aniž by plod poškodil. V průmyslovém měřítku se tyto senzory integrují přímo do třídících linek, kde vysokorychlostní kamery a senzory analyzují každý jednotlivý kus ovoce a rozdělují produkci podle predikované trvanlivosti.

### Akustické a vibroakustické přístupy

Akustické metody využívají změny mechanických vlastností plodů během zrání, zejména změny pevnosti a elasticity dužiny. Tyto vlastnosti ovlivňují šíření zvuku a vibrační odezvu plodu. Moderní vibroakustické systémy analyzují frekvenční charakteristiky signálu vzniklého například poklepem na plod. Výsledky ukazují, že tyto metody umožňují spolehlivě odlišit jednotlivé fáze zrání i detekovat vnitřní defekty.

Díky jednoduchosti a nízkým nákladům nacházejí tyto technologie uplatnění i v mobilních aplikacích, což rozšiřuje jejich využití mimo průmyslové prostředí.

### Chemické senzory a elektronické nosy

Chemické senzory, zejména tzv. elektronické nosy, představují klíčový nástroj pro hodnocení aromatického profilu ovoce. Tyto systémy simulují lidské čichové vnímání a analyzují těkavé organické látky uvolňované během zrání.

Elektronický nos se skládá ze tří hlavních částí:

- pole plynových senzorů,
- jednotky pro zpracování signálu,
- algoritmů pro rozpoznávání vzorů.

Moderní systémy využívají senzory typu MOS (metal-oxide semiconductor = polovodičové plynové senzory), piezoelektrické nebo polymerní senzory a jsou schopny detekovat i velmi nízké koncentrace těkavých látek. Kombinace elektronického nosu s metodami strojového učení (např. neuronové sítě nebo metoda podpůrných vektorů) výrazně zvyšuje přesnost klasifikace. V některých aplikacích bylo dosaženo přesnosti až kolem 97 % při hodnocení zralosti ovoce.

### Taktilní a robotické systémy

Rozvoj robotických systémů přináší nové možnosti automatizace sklizně a třídění. Taktilní neboli hmatové senzory umožňují nedestruktivní měření mechanických vlastností plodů a napodobují lidský hmat. Moderní taktilní senzory dokáží detekovat změny pevnosti plodu a tím určit stupeň zralosti s vysokou přesností. Nejnovější experimentální studie ukazují, že tyto systémy dokáží rozlišit jednotlivé fáze zrání na základě změn fyzikálních vlastností plodu.

Tyto technologie jsou integrovány do robotických manipulátorů, které kombinují senzorická data s algoritmy strojového vidění. Výsledkem je přesnější manipulace s plody a snížení mechanického poškození. Robotické systémy tak představují důležitý krok směrem k plně automatizovanému potravinářskému provozu.

### Multimodální senzorické systémy

Současný vývoj jednoznačně směřuje k multimodálním systémům, které kombinují data z různých senzorů. Tento přístup umožňuje komplexnější hodnocení kvality než použití jednoho typu senzoru.

Fúze dat může probíhat na několika úrovních:

- úroveň dat,
- úroveň příznaků,
- úroveň rozhodování.

**Tab. 1.** Přínosy a omezení senzorických technologií.

Přínosy	Omezení
<b>Nedestruktivní měření</b> – umožňuje kontrolu bez poškození plodu	<b>Vysoké pořizovací náklady</b> – technologie vyžadují značnou počáteční investici
<b>Rychlost a efektivita</b> – okamžité získání výsledků v reálném čase	<b>Potřeba kalibrace</b> – nutnost nastavení pro různé druhy ovoce a údržba senzorů
<b>Objektivní a reprodukovatelné hodnocení</b> – eliminuje lidskou chybu	<b>Citlivost na podmínky prostředí</b> – vnější vlivy mohou ovlivnit přesnost čidel
<b>Možnost kontinuálního monitorování</b> – sledování stavu v průběhu celého procesu	<b>Omezená univerzálnost</b> – konkrétní senzor nemusí vyhovovat všem typům plodin
<b>Možnost automatizace</b> – integrace do chytrých systémů řízení	<b>Nároky na zpracování a interpretaci dat</b> – potřeba odborných znalostí k analýze
<b>Detekce vnitřní kvality</b> – zjištění stavu dužiny bez narušení plodu	<b>Možná komplikovaná integrace</b> – potíže při zavádění do stávajících výrobních a logistických procesů
<b>Snížení ztrát při skladování a distribuci</b> – včasná identifikace kazivosti	<b>Možné chyby měření</b> – riziko nepřesnosti vlivem technických limitů
<b>Zvýšení kvality a bezpečnosti potravin</b> – zajištění optimální zralosti pro trh	<b>Závislost na technické podpoře</b> – riziko výpadků a potřeba servisu

Výzkumy potvrzují, že multimodální přístup výrazně zvyšuje přesnost a robustnost systémů. Kombinace optických, chemických a akustických dat poskytuje ucelenější obraz o stavu produktu a zlepšuje rozhodovací procesy. Tento přístup je základem konceptu tzv. „digitálního dvojčete“ produktu, které umožňuje predikovat vývoj kvality v čase.

### **Integrace umělé inteligence a digitalizace**

Umělá inteligence hraje klíčovou roli při zpracování velkých objemů dat ze senzorů. Algoritmy strojového a hlubokého učení umožňují:

- klasifikaci stupně zralosti,
- predikci trvanlivosti,
- optimalizaci logistických procesů.

Moderní systémy využívají cloud-edge architekturu, kde náročné výpočty probíhají v cloudu, zatímco rychlá rozhodnutí jsou realizována na lokálních zařízeních.

Současně dochází k integraci s technologiemi internetu věcí (IoT) a blockchainu, které umožňují sledování produktu v celém dodavatelském řetězci a zajišťují transparentnost a bezpečnost dat.

Zavádění moderních sensorických technologií do běžné praxe s sebou zároveň přináší zvýšené nároky na sjednocení postupů, ověřování přesnosti měření a systematické vzdělávání obsluhy. Pro jejich účinné využití v potravinářském provozu je nezbytné propojit technická řešení s podrobným porozuměním biologickým procesům, které během zrání ovoce probíhají. Klíčovým předpokladem úspěchu je proto úzká spolupráce mezi výzkumnými institucemi a aplikační sférou, jež umožňuje přenášet poznatky získané v laboratorních podmínkách do reálného provozu. Dlouhodobým přínosem těchto aktivit je vznik spolehlivých nástrojů pro optimalizaci sklizně, skladování a distribuce, snížení ztrát způsobených nesprávným určením zralosti plodů a současné zvýšení kvality i udržitelnosti celého potravinového řetězce.

Senzorické technologie pro nedestruktivní hodnocení zralosti a kvality ovoce představují v současnosti klíčový nástroj moderního potravinářství, umožňující přesné, rychlé a opakovatelné monitorování změn kvality v reálném čase. Vývoj, validace a využití různých inteligentních sensorických systémů pro objektivní hodnocení kvality potravin je předmětem dlouholeté spolupráce mezi Odborem potravinářstva NPPC a China Agricultural University.

Dosažené výsledky potvrzují, že propojení pokročilých senzorů, nových materiálů a algoritmů umělé inteligence má vysoký potenciál pro praktické nasazení v potravinářském průmyslu. Dosavadní výsledky zahrnují širokou škálu aplikací, od predikce zbývající doby skladování hub, detekci poškození chladem tropického ovoce s využitím pokročilých systémů multimodální fúze dat (termální zobrazení, impedance), až po integraci flexibilních taktilních senzorů do robotických manipulátorů umožňujících současnou klasifikaci ovoce podle zralosti i velikosti s vysokou přesností. Tato spolupráce se však neomezuje pouze na rostlinnou produkci – navrhnuté byly i flexibilní impedanční senzory pro rychlou detekci čerstvosti masa.

Aktuální výzkum tak představuje nejen teoretický přínos v oblasti hodnocení kvality, ale i další krok směrem k digitalizovaným, transparentním a udržitelným systémům kontroly potravin od producenta až ke konečnému spotřebiteli.

### **Poděkování:**

Tato publikace vznikla v rámci projektu SK-CN-23-0013 „Pokročilé inteligentné technológie kontroly dozrievania klimakterického typu ovocia“.

## AKO SPOĽAHLIVO STANOVIT NÍZKE HODNOTY AKRYLAMIDU: MEDZINÁRODNÝ KRUHOVÝ TEST

Kristína Kukurová – Zuzana Ciesarová

Akrylamid je nežiaduca látka, ktorá vzniká v potravinách počas tepelného spracovania, najmä pri pečení, pražení alebo vyprážaní. Monitoring akrylamidu je obzvlášť dôležitý pri potravinách určených pre dojčatá a malé deti. Pre tieto produkty je stanovená veľmi nízka referenčná hodnota 40  $\mu\text{g}/\text{kg}$  (benchmark level) definovaná v nariadení Európskej komisie (EÚ) 2017/2158. Nejde o maximálny bezpečnostný limit, ale o hodnotu, pri ktorej sú výrobcovia povinní preskúmať svoje výrobné procesy a prijať opatrenia na zníženie obsahu akrylamidu. Cieľom je uplatňovanie zásad zmierňovania (mitigation measures) a princípu ALARA (as low as reasonably achievable) a tak dosiahnuť čo najnižšiu možnú koncentráciu akrylamidu s ohľadom na technologické možnosti.

### ACRYRED - platforma pre bezpečnejšie potraviny

Projekt ACRYRED COST Action CA21149 (Reducing Acrylamide Exposure of Consumers by a Cereals Supply-Chain Approach Targeting Asparagine) spája výskumné inštitúcie, výrobcov potravín, agronómov, toxikológov, regulátorov a ďalších odborníkov s cieľom znižovať tvorbu akrylamidu naprieč celým dodávateľským reťazcom – od obilia až po finálne produkty. Projekt vytvára interdisciplinárnu sieť, ktorá podporuje zdieľanie poznatkov, vývoj inovácií a ich uplatnenie v praxi a prispieva k diskusii o bezpečnostných limitoch s tvorcami nariadení EÚ a ďalšími regulátormi.

ACRYRED vznikol v rámci programu COST (European Cooperation in Science and Technology) a jeho aktivity prebiehajú v období 2022–2026. V projekte sú zapojené výskumné pracoviská, potravinárske podniky a ďalšie subjekty z mnohých krajín Európy, ktoré spoločne pracujú na znížení expozície spotrebiteľov akrylamidu. Projekt je vedený odborníkmi z viacerých inštitúcií, pričom jedným z lídrov je Prof. Nigel Halford z Rothamsted Research (Veľká Británia) ako Action Chair a koordinátor pracovnej skupiny pre interdisciplinárnu výmenu poznatkov. Ing. Zuzana Ciesarová, PhD. z NPPC je vedúcou piatej pracovnej skupiny (WG5), ktorá sa zameriava na hodnotenie rizík a prínosov potravinových produktov a hľadanie stratégií znižovania akrylamidu v potravinách.

### Medzinárodný kruhový test – od nápadu po výsledky

Príprava medzilaboratórneho porovnania vznikla na podnet slovenského výrobcu cereálnych výrobkov, s ktorým naše pracovisko dlhodobo spolupracuje. Tento výrobca je členom projektu ACRYRED a vynakladá značné úsilie na to, aby jeho produkty boli bezpečné a spĺňali prísne kritériá kvality. Spoločne sme preto iniciovali a zorganizovali medzinárodný kruhový test (ring test), ktorého realizácia bola podporená grantom virtuálnej mobility v rámci

**Kristína Kukurová, Zuzana Ciesarová**, Oddelenie chémie a analýzy potravín, Odbor potravinárstva, Sekcia vedy, výskumu a inovácií, Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum, Bratislava.

*Korešpondencia:*

Ing. Kristína Kukurová, PhD., Odbor potravinárstva NPPC, Priemyselná 4, 82108 Bratislava.

E-mail: kristina.kukurova@nppc.sk

projektu ACRYRED, čo umožnilo výmenu skúseností a metodickej podpory medzi laboratóriami.

Do kruhového testu sa zapojili laboratória z rôznych krajín – Slovenska, Českej republiky, Poľska, Španielska, Turecka, Anglicka, Srbska, Grécka a Čiernej Hory. Každé z nich analyzovalo extrudovaný cereálny výrobok vyrobený na Slovensku, ktorý bol zaslaný v dvoch formách:

- Vzorka 1: celý výrobok, ktorý si laboratória pred analýzou samostatne pomleli.
- Vzorka 2: homogenizovaný materiál pripravený centrálné.

Cieľom bolo zistiť, či samotné mletie pri príprave vzorky ovplyvňuje výsledok analýzy akrylamidu.

### Použité metódy a analytické parametre

Zúčastnené laboratória stanovili obsah akrylamidu prevažne pomocou kvapalinovej a plynovej chromatografie spojenej s hmotnostnou spektrometriou (LC-MS/MS, UPLC-MS/MS a GC-MS), pričom na kvantifikáciu bol využívaný izotopovo značený interný štandard D3-acrylamid (D3-AA) alebo <sup>13</sup>C3-acrylamid (13C3-AA). Táto kombinácia predstavuje súčasný štandard pre presné a selektívne stanovenie akrylamidu v potravinových maticiach.

Limity detekcie (*LOD*) a kvantifikácie (*LOQ*) sa medzi laboratóriami líšili, pričom *LOQ* bolo v rozmedzí 10–25 µg/kg.

### Výsledky a ich vyhodnotenie

Namerané hodnoty obsahu akrylamidu sa medzi laboratóriami pohybovali od 33 µg/kg do 230 µg/kg (Tab. 1). Na štatistické vyhodnotenie bol použitý robustný medián, ktorý minimalizuje vplyv odľahlých hodnôt. Pre vzorku 1 mal hodnotu 79,8 µg/kg a pre vzorku 2 hodnotu 81,6 µg/kg. Porovnanie výsledkov medzi analyzovanými vzorkami poukázalo, že proces mletia vzorky počas jej prípravy nemá významný vplyv na stanovenú hodnotu akrylamidu.

Pri hodnotení z-skóre dosiahli všetky laboratória okrem jedného uspokojivé výsledky, čo potvrdzuje celkovú spoľahlivosť meraní. Jediné odľahlé laboratórium bolo v procese

**Tab. 1.** Prehľad výsledkov kruhového testu na stanovenie akrylamidu v cereálnych výrobkoch a charakteristika zúčastnených laboratórií (vyhovujúca spoľahlivosť pre hodnoty z-skóre ≤ 2).

Kód laboratória	Vzorka 1 (µg/kg)	Vzorka 2 (µg/kg)	z-skóre	Metóda Vnútorý štandard	Typ laboratória Dátum stanovenia
L01	85 ± 13	84 ± 13	-0,31 / 0,04	GC-MS D3-AA	Akreditované 1.7.2025
L02	75 ± 6	79 ± 6	-0,07 / -0,04	LC-MS/MS 13C3-AA	Výskumné 10.7.2025
L03	221	230	2,18 / 2,19	LC-MS/MS D3-AA	Vývoj metódy 30.7.2025
L04	116 ± 17	nemerané	0,56	LC-MS/MS D3-AA	Výskumné 25.7.2025
L05	35 ± 12	33 ± 12	-0,69 / -0,72	UPLC-MS/MS 13C3-AA	Akreditované 27.09.2025
L06	nemerané	100 ± 6	0,27	LC-MS/MS D3-AA	Výskumné 29.05.2025
L07	69	71	-0,17 / -0,16	LC-MS/MS D3-AA	Akreditované 30.7.2025

zavádzania metodiky stanovenia akrylamidu. Následná spoločná diskusia a analýza metodík v rámci testu pomohli identifikovať oblasti na zlepšenie a poskytli tomuto pracovnému tímu cennú spätnú väzbu.

### Prečo je to dôležité

Kruhový test potvrdil, že medzinárodná spolupráca medzi laboratóriami, výskumníkmi a potravinárskymi výrobcami je kľúčová pri zabezpečovaní presných a porovnateľných analytických výsledkov. Zapojené laboratória preukázali, že pri nízkych hladinách akrylamidu, ktoré sú relevantné z pohľadu bezpečnosti potravín, sú schopné dosahovať spoľahlivé výsledky.

Takéto porovnania zároveň podporujú harmonizáciu metodík a posilňujú dialóg o bezpečnostných limitoch potravín na úrovni EÚ, čo je dôležité pre ochranu zdravia spotrebiteľov a pre tvorbu regulácií v oblasti potravinovej bezpečnosti.

### Podakovanie

Práca vznikla v rámci projektu PVV 11 „Prenos poznatkov a inovácií v rámci podpory slovenskej produkcie potravín a potravinárskych výrobkov s vyššou pridanou hodnotou“, podporovaného Ministerstvom pôdohospodárstva a rozvoja vidieka SR, kontrakt medzi MPRV SR a NPPC č.1131/2024/MPRVSR-930.

## BAKEMETER AKO RÝCHLY NÁSTROJ NA IDENTIFIKÁCIU AKRYLAMIDU V EXTRUDOVANÝCH SNACKOCH

Zuzana Ciesarová – Kristína Kukurová

Pre potravinársky priemysel je dôležité nielen znižovať obsah akrylamidu, ale aj rýchlo identifikovať potenciálne rizikové výrobky. V posledných rokoch sa ukazuje, že okrem klasických analytických metód môže byť užitočným nástrojom aj optická analýza výrobkov pomocou zariadenia Bakemeter, ktorá umožňuje rýchle hodnotenie kvalitatívnych parametrov a farebného profilu výrobkov.

Extrudované obilné snacky patria medzi dynamicky rastúcu kategóriu potravín. Ich výroba umožňuje kombinovať rôzne suroviny, vytvárať atraktívnu textúru a zároveň ponúkať výrobky s nižším obsahom tuku. Intenzívne tepelné spracovanie však môže viesť aj k tvorbe nežiaducich kontaminantov. Jedným z najdiskutovanejších je akrylamid, látka vznikajúca počas tepelnej úpravy potravín rastlinného pôvodu pri teplotách nad 120 °C.

### Prečo sledovať akrylamid

Akrylamid vzniká najmä v dôsledku Maillardovej reakcie medzi aminokyselinou asparagín a redukujúcimi sacharidmi. Táto reakcia je zodpovedná za typickú farbu a arómu mnohých tepelne spracovaných potravín, no zároveň môže viesť k tvorbe nežiaducich látok. Z toxikologického hľadiska je akrylamid klasifikovaný ako pravdepodobný karcinogén. Európska legislatíva preto zaviedla referenčné hodnoty na sledovanie jeho obsahu v rôznych kategóriách

**Zuzana Ciesarová, Kristína Kukurová**, Oddelenie chémie a analýzy potravín, Odbor potravinárstva, Sekcia vedy, výskumu a inovácií, Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum, Bratislava.

*Korešpondencia:*

Ing. Zuzana Ciesarová, PhD., Odbor potravinárstva NPPC, Priemyselná 4, 82108 Bratislava.

E-mail: zuzana.ciesarova@nppc.sk

potravín. Najnižšie referenčné hodnoty sa vzťahujú na potraviny určené pre dojčatá a malé deti.

Extrudované výrobky z obilnín alebo strukovín môžu byť potenciálnym zdrojom akrylamidu, pretože ich výrobný proces zahŕňa kombináciu vysokých teplôt, tlaku a nízkej vlhkosti, teda podmienok priaznivých pre jeho vznik.

Jedným z prístupov k znižovaniu obsahu akrylamidu je úprava receptúry výrobku. Medzi účinné opatrenia patrí napríklad zníženie pH surovinovej zmesi alebo použitie dvojmocných kationov, ako je vápnik.

V experimentálnych extrudovaných kukuričných snackoch sa testoval komerčný prípravok založený na kombinácii zníženia pH a prídavku  $\text{Ca}^{2+}$  vo forme citrátu vápenatého. Modelové výrobky boli pripravené v troch príchuťových variantoch – s prídavkom mrkvy, špenátu a cvikly. Pre každý variant boli vyrobené kontrolné vzorky bez aditíva a experimentálne vzorky s jeho aplikáciou.

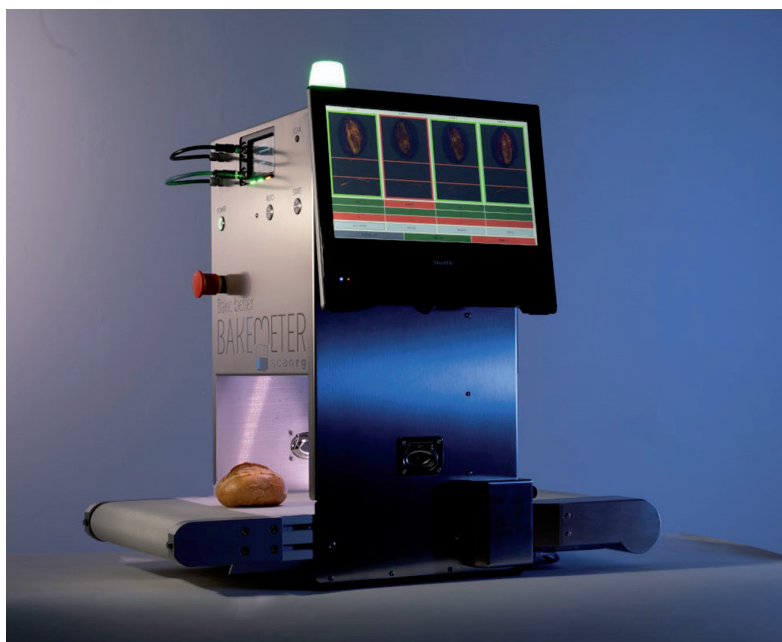
Obsah akrylamidu bol následne stanovený referenčnou analytickou metódou pomocou kvapalinovej chromatografie s hmotnostnou spektrometriou (LC-MS/MS). Výsledky ukázali, že aplikácia testovanej formulácie dokázala znížiť obsah akrylamidu približne o 40 až 60 %.

Pri zavádzaní takýchto opatrení do praxe je však rovnako dôležité sledovať aj ich vplyv na kvalitu výrobku.

### Bakemeter – rýchla kontrola kvality

Práve v tejto oblasti sa ukazuje ako veľmi užitočný prístroj Bakemeter Scan RG. Ide o zariadenie založené na optickej analýze obrazu, ktoré umožňuje automaticky hodnotiť viacero fyzikálnych parametrov výrobkov.

Pri analýze extrudovaných snackov zariadenie dokáže sledovať napríklad rozmery výrobkov (dĺžku a šírku), tvar a povrchové vlastnosti, objem, farebný profil a pod. Takéto komplexné hodnotenie je možné realizovať rýchlo a bez potreby zložitej prípravy vzorky, čo je významná výhoda najmä pri kontrole kvality vo výrobe.



**Obr. 1.** Zariadenie Bakemeter Scan RG.

### Farba ako indikátor technologických zmien

Zaujímavým zistením experimentu bolo, že zmeny v obsahu akrylamidu sa prejavili aj na farebných parametroch výrobkov. Tie boli hodnotené v medzinárodne používanom farebnom priestore CIE Lab\*. V tomto systéme  $L^*$  vyjadruje svetlosť výrobku,  $a^*$  predstavuje os červená – zelená,  $b^*$  predstavuje os žltá – modrá.

Merania pomocou zariadenia Bakemeter Scan RG ukázali, že pri dvoch testovaných produktoch sa po aplikácii prípravku na redukciu akrylamidu prejavili významné zmeny vo všetkých farebných parametroch. Zároveň však tieto zmeny zostali v rozsahu, ktorý je pre spotrebiteľa stále prijateľný.

V treťom výrobku, kde redukcia akrylamidu nebola štatisticky významná, sa zaznamenala len nevýrazná zmena parametra  $b^*$ . Tento výsledok naznačuje, že medzi intenzitou neenzymatického hnednutia a tvorbou akrylamidu môže existovať určitá súvislosť.

### Potenciál pre rýchly skrining

Tradičné analytické metódy stanovenia akrylamidu sú síce veľmi presné, ale časovo náročné a finančne nákladné. V priemyselnej praxi preto existuje veľký záujem o rýchle orientačné metódy, ktoré by umožnili identifikovať potenciálne rizikové výrobky ešte počas výrobného procesu.

Výsledky ukazujú, že meranie farby pomocou zariadenia Bakemeter môže slúžiť ako praktický skriningový nástroj. Hoci nenahrádza presnú analytickú metódu, dokáže upozorniť na zmeny v technologickom procese alebo receptúre, ktoré môžu súvisieť so zvýšenou tvorbou akrylamidu.

Napriek tomu, že vizuálne hodnotenie farby výrobkov ako orientačný ukazovateľ intenzity neenzymatického hnednutia a tvorby akrylamidu je v praxi známe už dlhšie, Bakemeter Scan RG prináša výraznú pridanú hodnotu v podobe objektívnych a reprodukovateľných meraní. Na rozdiel od konvenčných farebných škál poskytuje kvantitatívne údaje v štandardizovanom farebnom priestore CIE Lab a zároveň umožňuje hodnotenie ďalších parametrov, ako sú tvar, rozmery, povrch a homogenita výrobkov.

Z pohľadu potravinárskeho priemyslu je kombinácia technologických opatrení na znižovanie akrylamidu a rýchlych metód kontroly kvality veľmi dôležitá.

Prístroje typu Bakemeter umožňujú:

- rýchlu kontrolu kvality extrudovaných výrobkov,
- sledovanie zmien farby a tvaru pri úpravách receptúr,
- identifikáciu potenciálnych technologických problémov,
- podporu rozhodovania pri optimalizácii výrobných procesov.

Pre výrobcov snackov tak predstavujú praktický nástroj, ktorý môže pomôcť udržať stabilnú kvalitu výrobkov a zároveň podporiť plnenie požiadaviek na bezpečnosť potravín.

Ak sa výskum v tejto oblasti bude ďalej rozvíjať, optické metódy analýzy potravín by mohli v budúcnosti zohrávať ešte významnejšiu úlohu. Spojenie rýchlej vizuálnej analýzy s modernými analytickými metódami totiž otvára nové možnosti efektívneho monitorovania kontaminantov v potravinárskej praxi. Doterajšie výsledky potvrdzujú, že optická analýza môže slúžiť ako praktický skriningový nástroj na identifikáciu potenciálne rizikových technologických zmien. Do budúcnosti sa počíta aj s jeho využitím v rámci rozšíreného odborného poradenstva pre potravinársku prax, čím NPPC-OP posilní svoju úlohu centrálného poradenského pracoviska pre problematiku akrylamidu.

### Podakovanie

Táto práca vznikla v rámci projektu APVV 23-0169 „Fermentácia strukovín z hľadiska valorizácie a obsahu akrylamidu v potravinových produktoch“. Zariadenie Bakemeter Scan RG bolo obstarané s podporou projektu sweetACTIVE 09I04-03-V03-00006 „New method of sugar beet processing onto new sweeteners and food ingredients with health benefits and reduced carbon footprint“.

## APLIKÁCIA PEDIOCÍNU NA KONTROLU *LISTERIA MONOCYTOGENES* V POTRAVINÁCH

Adriana Véghová

*Listeria monocytogenes* patrí medzi významné patogény prenášané potravinami a predstavuje vážne riziko pre verejné zdravie. Vyznačuje sa schopnosťou prežívať v rôznych environmentálnych podmienkach, vrátane nízkych teplôt a vysokého obsahu soli, čo jej umožňuje kontaminovať široké spektrum potravinových výrobkov. V posledných rokoch sa čoraz väčšia pozornosť venuje využívaniu prírodných antimikrobiálnych látok, ktoré môžu pomôcť znižovať výskyt patogénov v potravinách. Jednou z takýchto látok je pediocín – bakteriocín produkovaný baktériami rodu *Pediococcus*, ktorý vykazuje výraznú inhibičnú aktivitu proti *Listeria monocytogenes* a predstavuje potenciálny nástroj v biokonverzácii potravín.

Potravinová bezpečnosť patrí medzi najdôležitejšie priority potravinárskeho priemyslu. Na jej zaistenie sa v potravinárskom priemysle využívajú rôzne metódy konzervácie, prísne hygienické postupy a kontrolné systémy, ktorých cieľom je zabezpečiť zdravotnú nezávadnosť potravín pre spotrebiteľov. Kontaminácia potravín mikroorganizmami, chemickými látkami alebo fyzikálnymi nečistotami môže predstavovať významné zdravotné riziko pre spotrebiteľov, viesť k vzniku alimentárnych ochorení a zároveň spôsobiť značné ekonomické straty v potravinárskom priemysle.

Jedným z najdôležitejších problémov v oblasti bezpečnosti potravín je výskyt patogénnych mikroorganizmov. Medzi významné potravinové patogény patrí baktéria *Listeria monocytogenes*, ktorá je pôvodcom ochorenia listeriózy. Ide o závažné infekčné ochorenie, ktorého výskyt je síce relatívne nízky, ale má vysokú mieru úmrtnosti (20–30 %), najmä u rizikových skupín populácie. Infekcia sa najčastejšie prenáša konzumáciou kontaminovaných potravín, najmä potravín pripravených na priamu konzumáciu. Typickými zdrojmi sú mäkké syry, nepasterizované mliečne výrobky, fermentované mäsové výrobky alebo údené ryby. *L. monocytogenes* sa vyznačuje vysokou adaptabilitou na nepriaznivé podmienky prostredia. Je schopná rásť pri rôznych teplotách (0–45 °C) a v širokom rozsahu pH. Toleruje zvýšené koncentrácie soli a prežíva v potravinárskom prostredí vďaka tvorbe biofilmov na rôznych povrchoch. Tieto vlastnosti ju robia mimoriadne odolnou voči tradičným hygienickým opatreniam a umožňujú jej kontaminovať potraviny počas spracovania alebo skladovania. Preto je nevyhnutné vyvíjať nové metódy, ktoré dokážu účinne kontrolovať výskyt nielen tejto baktérie, ale aj iných patogénov.

Na prevenciu mikrobiálnej kontaminácie potravinárskych výrobkov sa využívajú rôzne konzervačné látky, predovšetkým syntetického pôvodu. Hoci sú tieto látky potravinárskej kvality a všeobecne uznávané ako bezpečné, existujú rastúce obavy z ich používania spotrebiteľmi. Napriek ich účinnosti sa ukazuje, že dlhodobé vystavenie týmto látkam môže mať negatívny vplyv na zdravie spotrebiteľov. Rastúce povedomie o možných zdravotných

**Adriana Véghová**, Oddelenie mikrobiológie a molekulárnej biológie, Odbor potravinárstva, Sekcia vedy, výskumu a inovácií, Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum, Bratislava.

*Korešpondencia:*

Mgr. Adriana Véghová, PhD., Odbor potravinárstva NPPC, Priemyselná 4, 82108 Bratislava.

E-mail: [adriana.veghova@nppc.sk](mailto:adriana.veghova@nppc.sk)

rizikách spolu so zvyšujúcim sa dopytom po potravinách s ich minimálnym obsahom vedie k vývoju alternatív v podobe prírodných antimikrobiálnych zlúčenín.

Jednou z perspektívnych stratégií kontroly potravinových patogénov je využitie biokonzervantov, medzi ktoré patria aj bakteriocíny. Ide o ribozomálne syntetizované peptidy alebo proteíny s antimikrobiálnou aktivitou produkované gramnegatívnymi a grampozitívnymi baktériami, vrátane baktérií mliečneho kvasenia, rodov *Staphylococcus*, *Bacillus* či *E. coli*. Bakteriocíny vykazujú inhibičné účinky proti rôznym skupinám nežiaducich mikroorganizmov, pričom mechanizmus ich účinku je prevažne zameraný na bunkovú stenu mikroorganizmov. Líšia sa genetickým pôvodom, biochemickými vlastnosťami, molekulovou hmotnosťou a spektrom účinku. Keďže sa dajú rozložiť gastrointestinálnymi enzýmami, sú považované za bezpečné pre ľudskú spotrebu. V potravinárskom priemysle majú význam najmä pri predlžovaní trvanlivosti potravín, redukcii výskytu patogénnych mikroorganizmov a znižovaní potreby používania syntetických konzervačných látok.

Spomedzi bakteriocínov sa pediocín stal jednou z najslubnejších látok, ktoré by sa mohli komerčne využiť ako prírodné konzervačné látky. Pediocín patrí do bakteriocínov triedy II, ktoré sú charakterizované ako malé, tepelne stabilné a nemodifikované antimikrobiálne peptidy s nízkou molekulovou hmotnosťou (5–10 kDa). Delia sa do niekoľkých podtried, vrátane podtriedy IIa, kam patrí pediocín. Pediocíny sú produkované niektorými druhmi rodu *Pediococcus*, najmä *P. acidilactici* a *P. pentosaceus*. Medzi jeho hlavné vlastnosti patrí vysoká stabilita pri nízkych teplotách, stabilita v širokom rozsahu pH, relatívna odolnosť voči tepelnému spracovaniu a vysoká inhibičná aktivita proti grampozitívnym baktériám, najmä proti *L. monocytogenes*. Okrem toho je pediocín citlivý na proteolytické enzýmy, ako sú pepsín alebo trypsín, čo zabezpečuje jeho rozklad v tráviacom trakte po konzumácii a nepôsobí toxicky na človeka. Antimikrobiálny účinok pediocínu je založený predovšetkým na jeho schopnosti poškodiť bunkovú membránu cieľovej baktérie. Mechanizmus spočíva v naviazaní na špecifické receptory na povrchu bunky a v narušení bunkovej membrány tvorbou pórov, čím dochádza k úniku iónov a metabolitov a k bunkovej smrti. Tento mechanizmus spôsobuje rýchly bakteriocídny efekt.

Pediocín sa môže v potravinárskom priemysle aplikovať dvoma spôsobmi, buď metódou in situ pridaním baktérií produkujúcich pediocín do potravinovej matrice za účelom produkcie pediocínu za kontrolovaných podmienok, aby sa zabránilo rastu patogénov v potravinách, alebo priamym použitím optimálnej koncentrácie pediocínu priamo do potravinovej matrice. Pediocín sa často skúma v súvislosti s kontrolou *L. monocytogenes* v mäsových výrobkoch. Štúdie ukázali, že jeho aplikácia môže významne znížiť počet baktérií vo výrobkoch, ako sú fermentované klobásy, údené výrobky a balené mäso. Mliečne výrobky poskytujú priaznivé prostredie pre rast mikróbov vďaka vysokému obsahu živín. Pediocín bol skúmaný pre jeho potenciál zlepšiť bezpečnosť a trvanlivosť mliečnych výrobkov, ako sú syry a fermentované mlieko. Použitie kultúr produkujúcich bakteriocín počas fermentácie syrov pomáha inhibovať rast patogénov bez negatívneho ovplyvnenia chuti alebo textúry výrobkov. Hotové jedlá (ready-to-eat) predstavujú najväčšie riziko kontaminácie baktériou *L. monocytogenes*, pretože sa pred konzumáciou často tepelne neupravujú. Použitie pediocínu v týchto produktoch môže výrazne zvýšiť ich mikrobiologickú bezpečnosť. Jednou z najinovatívnejších aplikácií pediocínu je jeho začlenenie do aktívnych obalových systémov (jedlé filmy a povlaky). Takéto obaly môžu postupne uvoľňovať pediocín, inhibovať rast patogénov na povrchu potraviny, a tým predĺžiť jej trvanlivosť (Tab. 1).

Antimikrobiálnu účinnosť pediocínu možno zvýšiť jeho kombináciou s ďalšími konzervačnými technológiami, ako sú vysoký hydrostatický tlak, chladenie, organické kyseliny či bakteriofágy. Experimentálne štúdie preukázali, že kombinácia pediocínu, bakteriofága a vysokého tlaku dokáže eliminovať *L. monocytogenes* v mlieku a zároveň zabrániť jej opätovnému rastu počas skladovania. Takéto kombinované prístupy môžu výrazne zvýšiť inhibičný účinok proti *L. monocytogenes* pri súčasnom zachovaní kvality potravín.

**Tab. 1.** Aplikácie pediocínu v potravinárstve a jeho antimikrobiálne účinky.

Aplikácia	Cieľové mikroorganizmy	Typy potravín	Účinok
Konzervácia mäsa	<i>Listeria monocytogenes</i> , <i>Staphylococcus aureus</i>	Klobásy, údeniny, fermentované mäsové výrobky	Inhibícia rastu patogénov, predĺženie trvanlivosti
Ochrana mliečnych výrobkov	<i>Listeria monocytogenes</i> , <i>Bacillus</i> spp.	Syr, jogurt	Predchádzanie kontaminácie, zvýšenie bezpečnosti
Hotové jedlá (ready-to-eat)	<i>Listeria monocytogenes</i>	Sendviče, šaláty, údené ryby	Zníženie rizika alimentárnych ochorení
Balenie potravín	<i>Listeria monocytogenes</i> , iné grampozitívne baktérie	Jedlé filmy, povlaky na rôznych potravinách	Poskytnutie antimikrobiálnej povrchnej ochrany
Fermentované potraviny	Baktérie spôsobujúce kazenie	Nakladaná zelenina, kimchi, fermentované klobásy	Podpora riadenej fermentácie, zabránenie kazeniu

Napriek preukázanej účinnosti a sľubnému potenciálu existuje niekoľko obmedzení, ktoré ovplyvňujú široké využitie pediocínu v potravinárskom priemysle. Jedným z hlavných obmedzení je jeho relatívne úzke antimikrobiálne spektrum. Pediocín je účinný predovšetkým proti grampozitívnym baktériám, zatiaľ čo jeho aktivita voči gramnegatívnym baktériám je obmedzená. Ďalšie obmedzenia zahŕňajú jeho možnú degradáciu proteolytickými enzýmami v komplexných potravinových maticiach, adsorpciu na tuky a proteíny potravinovej matrice, možný vznik rezistentných kmeňov *L. monocytogenes* a vyššie výrobné náklady. Tieto faktory je potrebné dôsledne zohľadniť pri jeho aplikácii v potravinárstve.

Pediocín predstavuje perspektívny a prírodný prostriedok biokonzervácie s vysokou účinnosťou proti *L. monocytogenes*, čo ho robí obzvlášť cenným najmä v potravinách určených na priamu konzumáciu. Vďaka svojej stabilite pri tepelnom spracovaní a nízkych teplotách má veľký potenciál v oblasti biokonzervácie potravín. Jeho aplikácia môže prispieť k zvýšeniu bezpečnosti potravín a zníženiu výskytu alimentárnych infekcií. V kombinácii s ďalšími technológiami konzervácie má pediocín potenciál stať sa dôležitou súčasťou moderných systémov konzervácie potravín.

S narastajúcou rezistenciou mikroorganizmov proti bežne používaným antimikrobiálnym látkam, ktoré sa využívajú na elimináciu nežiaducej mikrobioty, sa do popredia dostávajú alternatívne biologické metódy. Medzi perspektívne stratégie patrí využitie bakteriocínov a bakteriofágov, ako aj ich lytických enzýmov – endolyzínov. V rámci nášho výskumu na Odbore potravinárstva NPPC sa zameriavame na hodnotenie účinnosti bakteriofágového preparátu a pripravených endolyzínov na rast kmeňov *L. monocytogenes* izolovaných z potravinárskeho prostredia. Súčasne sledujeme aj vplyv tohto preparátu na tvorbu biofilmov. Získané výsledky nášho výskumu môžu prispieť k lepšiemu pochopeniu potenciálu využitia bakteriofágov a endolyzínov v oblasti kontroly mikrobiálnej kontaminácie.

#### Podakovanie

Táto práca bola podporená Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe zmluvy č. APVV-23-0140.

## AKTUÁLNE VÝZVY V OBLASTI MIKROBIOLOGICKEJ BEZPEČNOSTI POTRAVÍN

Eva Kačíková

Mikrobiologická bezpečnosť potravín predstavuje kľúčový pilier ochrany verejného zdravia, pričom jej význam v posledných desaťročiach výrazne narastá v dôsledku globalizácie, zmien spotrebiteľského správania a environmentálnych faktorov. Dynamický vývoj mikroorganizmov, technologických procesov a potravinových systémov vedie k vzniku nových rizík, ktoré si vyžadujú komplexný, interdisciplinárny prístup. Medzi najvýznamnejšie aktuálne výzvy patria detekcia a monitorovanie mikroorganizmov, perzistencia patogénov v potravinárskych prevádzkach, antimikrobiálna rezistencia, spotrebiteľské trendy, globalizácia dodávateľských reťazcov a klimatické zmeny.

Jednou zo základných výziev je spoľahlivá detekcia a monitorovanie mikroorganizmov. Tradičné mikrobiologické metódy, založené na kultivačných postupoch, sú síce spoľahlivé, no časovo náročné. Moderné prístupy, ako molekulárne techniky (napr. PCR) či metagenomika, umožňujú rýchlejšiu a presnejšiu identifikáciu patogénov. Napriek tomu existujú výzvy spojené s ich implementáciou v praxi, najmä z hľadiska štandardizácie, validácie a nákladov. Efektívne monitorovanie si vyžaduje aj harmonizovaný zber a interpretáciu dát, čo je obzvlášť dôležité v rámci medzinárodného obchodu s potravinami. Vývoj metód smeruje od presných, ale pomalých metód k rýchlym, automatizovaným a komplexným technológiám, pričom hlavnou výzvou zostáva ich praktická implementácia v reálnych podmienkach („point-of-use“) a harmonizácia dát (Tab. 1).

Ďalšou významnou výzvou je perzistencia patogénov v potravinárskych prevádzkach. Niektoré mikroorganizmy, ako napríklad *Listeria monocytogenes* alebo *Salmonella*, majú schopnosť prežívať v prostredí výrobných liniek, často vo forme biofilmov (Tab. 2). Tieto štruktúry poskytujú ochranu pred dezinfekčnými prostriedkami a umožňujú dlhodobé pretrvávanie kontaminácie.

Nedostatočný hygienický dizajn zariadení, prítomnosť ťažko dostupných miest a nedôsledné čistenie predstavujú hlavné faktory podporujúce perzistenciu patogénov. Eliminácia tohto problému si vyžaduje kombináciu technických opatrení, správnej hygienickej praxe a pravidelného environmentálneho monitorovania.

Sofistikované genómové nástroje: celogenómové sekvenovanie (WGS) a ďalšie omické metódy na sledovanie patogénov a trasovanie ohnísk umožňujú vysoké rozlíšenie pri určovaní príbuznosti izolátov a rýchlejšiu identifikáciu zdrojov. Zlatým štandardom na hodnotenie príbuznosti izolátov jedného druhu a identifikáciu perzistencie je v súčasnosti metóda založená na analýze dát WGS – tzv. „core genome“ multilokusová sekvenčná analýza (cgMLST) 1748 génov.

Touto metódou sme monitorovaním reťazca produkcie ovčieho mlieka na farme odhalil plošnú kontamináciu perzistentným klonom *Listeria monocytogenes* ST14 (Obr. 1).

**Eva Kačíková**, Oddelenie mikrobiológie a molekulárnej biológie, Odbor potravinárstva, Sekcia vedy, výskumu a inovácií, Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum, Bratislava.

*Korešpondencia:*

Ing. Eva Kačíková, PhD., Odbor potravinárstva NPPC, Priemyselná 4, 82108 Bratislava.

E-mail: eva.kaclikova@nppc.sk

**Tab. 1.** Vývoj metód detekcie a monitorovania mikroorganizmov v potravinách.

Obdobie	Typ metódy	Príklady metód	Výhody	Nevýhody
do 1980	Kultivačné metódy	agarové médiá, kultivačná identifikácia	vysoká spoľahlivosť, štandardizácia	časová náročnosť (1–7 dní)
1980–2000	Imunologické a biochemické metódy	ELISA, detekcia a kvantifikácia proteínov	rýchlejšie než kultivácia	nižšia špecificita
2000–2015	Molekulárne metódy (PCR)	PCR, real-time PCR	vysoká citlivosť a špecificita	vyššie náklady, laboratórne vybavenie
od 2015 do súčasnosti	Rýchle metódy „point-of-use“	ATP testy, LAMP, biosenzory	výsledky v minútach, použitie priamo v prevádzke	neidentifikujú konkrétny patogén
súčasnosť–budúcnosť	Omický prístup, digitalizácia	metagenomika, NGS, AI analýza	komplexná analýza mikrobioty, predikcia rizík	vysoké náklady, potreba štandardizácie

ELISA – enzýmová imunisorbentná analýza, PCR – polymerázová reťazová reakcia, ATP – adenosíntrifosfát, LAMP – izotermálna amplifikácia sprostredkovaná slučkou, NGS – sekvenovanie novej generácie.

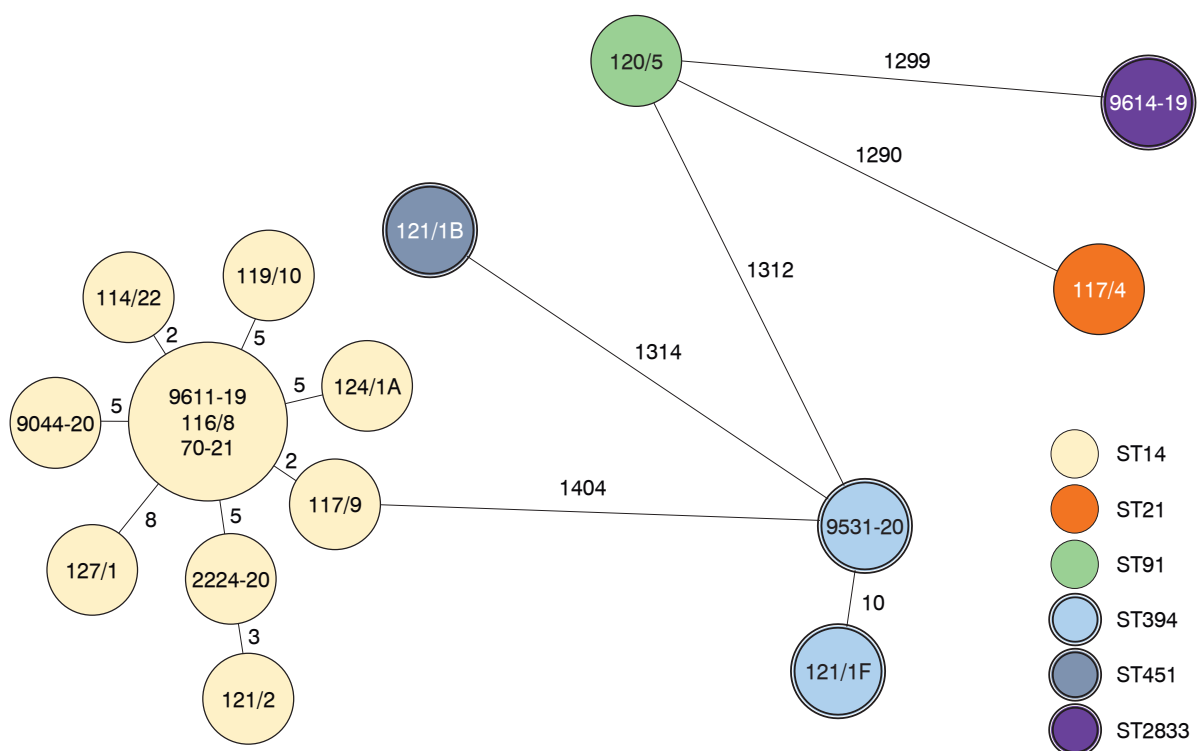
Po aplikácii navrhovaných dezinfekčných a sanitačných opatrení sa kontaminácia prostredia znížila, kontaminácia mlieka pretrvávala. Zdroj perzistentnej kontaminácie sme lokalizovali v uzavretom systéme dojacieho zariadenia. Po márných snahách čistenia bol konateľ farmy nútený neposkytovať ovčie mlieko na spracovanie bez pasterizácie. Výzvou v tejto oblasti je zlepšiť hygienický dizajn zariadení, sanitačné protokoly a bariérové systémy ako prevenciu, aby sa minimalizovala potenciálna perzistencia v kritických bodoch a využívať aj alternatívne, biologické prístupy.

Významným globálnym problémom je antimikrobiálna rezistencia. Zatiaľ čo riziko aliméntárnych infekcií bolo a je stále prítomné, v súčasnosti je vysoko aktuálna aj ďalšia dimenzia

**Tab. 2.** Významné potravinové patogény tvoriace biofilmy.

Mikroorganizmus	Kategória potravín	Charakteristika biofilmu	Riziko
<i>Listeria monocytogenes</i>	ready-to-eat, mäso, mliečne výrobky	silná adhézia na nerez, rast pri nízkych teplotách	vysoké (listerióza)
<i>Salmonella</i>	hydina, vajcia, zelenina	tvorba biofilmov na rôznych povrchoch	vysoké (salmonelóza)
<i>Escherichia coli</i> (napr. O157:H7)	hovädzie mäso, zelenina	schopnosť tvorby biofilmov v potravinových systémoch	vysoké (hemoragická kolitída)
<i>Staphylococcus aureus</i>	mliečne výrobky, hotové jedlá	tvorba biofilmov a produkcia toxínov	stredné–vysoké
<i>Campylobacter</i>	hydina	slabšie biofilmy, ale prežívanie v komunitách	vysoké
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	voda, povrchy, chladené potraviny	silná tvorba biofilmov, kazenie potravín	zdravotné + technologické riziko
<i>Bacillus cereus</i>	ryža, cereálie, mlieko	spóry + biofilmy = vysoká odolnosť	stredné
<i>Cronobacter sakazakii</i>	dojčenská výživa	perzistencia v suchých prevádzkach	vysoké (riziko pre dojčatá)

tohto problému, ktorou je prítomnosť a šírenie baktérií rezistentných na antibiotiká v potravinovom reťazci, čo súvisí s používaním antibiotík v živočíšnej výrobe ako aj ich šírením prostredníctvom environmentálnych rezervoárov. Gény rezistencie sa bežne nachádzajú u baktérií na mobilných genetických elementoch, čo predstavuje hlavný mechanizmus prenosu a rýchleho šírenia medzi baktériami. Druhá rovina tejto problematiky súvisí s rezistenciami na antimikrobiálne látky, ktoré sa využívajú v procesoch dezinfekcie a sanitácie (napr. kvartérne amóniové soli). Rezistencia baktérií na antibiotiká je dnes považovaná za jednu z najväčších výziev verejného zdravotníctva a prepojením s bezpečnosťou potravín predstavuje vysoko aktuálnu tému. Riešenie antibiotickej rezistencie si vyžaduje komplexnú a zosúladenú „One Health“ stratégiu, ktorá prepája dohľad, legislatívu a racionálne využívanie antibiotík v humánnej medicíne, živočíšnej výrobe a monitoring v environmentálnom kontexte.



**Obr. 1.** Fylogenetický strom vytvorený na základe cgMLST analýzou 1748 génov.

Počet alelických rozdielov uvedených na spojnicach klastrov/izolátov *L. monocytogenes* do 10 znamená ich identitu, t.j. pôvod z jedného zdroja. *L. monocytogenes* ST 14 bol na základe výsledkov identifikovaný ako perzistentný.

ST – sekvenčný typ

Spotrebiteľské trendy predstavujú ďalší významný faktor ovplyvňujúci mikrobiologickú bezpečnosť potravín. Rastúci dopyt po minimálne spracovaných potravinách, produktoch bez konzervantov („clean label“) či surových fermentovaných výrobkoch prináša nové výzvy. Zníženie technologických zásahov môže viesť k eliminácii tradičných bariér proti rastu mikroorganizmov, čím sa zvyšuje riziko kontaminácie a rastu patogénov ako aj mikroorganizmov spôsobujúcich kazenie. Výrobcovia sú preto nútení hľadať alternatívne spôsoby zabezpečenia mikrobiologickej bezpečnosti, napríklad využitím kombinovaných konzer-

vačných faktorov alebo inovatívnych technológií spracovania. Výzvou je vyvinúť účinné mikrobiologické rizikové stratégie na zabezpečenie mikrobiologickej neškodnosti a stability bez kompromisu na požadovaných nutričných alebo sensorických vlastnostiach.

Na našom pracovisku v rámci RPVV realizujeme výskum, ktorého zámerom je optimalizácia tepelného opracovania smerom k nižšej tepelnej záťaži, s cieľom šetrnejšieho opracovania a zlepšenie nutričných a sensorických parametrov, zníženia energetickej náročnosti výrobných procesov tepelne opracovaných mäsových výrobkov na priamu konzumáciu (varená šunka, tlačienka, klobásy, párky) pri zachovaní mikrobiologickej bezpečnosti. Cieľom je nahradiť štandardné tepelné opracovanie uvedeného typu výrobkov (70 °C/10 min) šetrnejším procesom pre zachovanie mikrobiologickej bezpečnosti.

Globalizácia potravinových dodávateľských reťazcov významne komplikuje riadenie mikrobiologických rizík. Potraviny a suroviny často prechádzajú viacerými krajinami s odlišnými hygienickými štandardmi a legislatívou. Tento komplexný systém zvyšuje pravdepodobnosť kontaminácie a zároveň sťažuje identifikáciu jej zdroja v prípade potravinových nákaz. Navyše umožňuje rýchle šírenie patogénov na globálnej úrovni. Kľúčovým nástrojom na zvládanie týchto rizík je efektívna trasovateľnosť, medzinárodná spolupráca a harmonizácia bezpečnostných štandardov.

V neposlednom rade zohrávajú významnú úlohu klimatické a environmentálne vplyvy. Zvyšovanie teploty, zmeny zrážkových vzorcov a extrémne poveternostné javy ovplyvňujú výskyt a správanie mikroorganizmov v prostredí. Napríklad vyššie teploty podporujú rast baktérií a ich šírenie do nových geografických oblastí, zatiaľ čo záplavy môžu viesť ku kontaminácii vodných zdrojov fekálnymi mikroorganizmami. Zmeny vo vodných systémoch zároveň zvyšujú riziko prenosu patogénov do potravinového reťazca, najmä prostredníctvom zavlažovania plodín. Tieto faktory si vyžadujú adaptáciu existujúcich systémov hodnotenia rizík a zavedenie flexibilných monitorovacích stratégií.

Mikrobiologická bezpečnosť potravín čelí komplexným a dynamickým výzvam, ktoré presahujú tradičné hranice jednotlivých sektorov. Efektívne riadenie týchto rizík si vyžaduje integrovaný prístup založený na vedeckých poznatkoch, moderných technológiách a medzinárodnej spolupráci. Kľúčové je prepojenie monitorovania, prevencie a regulácie v rámci celého potravinového reťazca, ako aj implementácia princípov „One Health“. Len tak je možné zabezpečiť vysokú úroveň ochrany zdravia spotrebiteľov v meniacich sa globálnych podmienkach.

Pracovisko Oddelenia mikrobiológie a molekulárnej biológie NPPC prispieva k riešeniu aktuálnych výziev mikrobiologickej bezpečnosti potravín kombináciou moderných analytických prístupov a aplikovaného výskumu. Využívanie pokročilých molekulárnych a genómových metód umožňuje presnú detekciu, charakterizáciu a sledovanie patogénov vrátane ich perzistencie v potravinárskych prevádzkach. Zároveň sa pracovisko venuje optimalizácii technologických procesov s cieľom zachovať mikrobiologickú bezpečnosť pri zlepšení kvality výrobkov a znížení technologickej záťaže. Týmto komplexným prístupom prispieva k efektívnej prevencii mikrobiologických rizík a ochrane zdravia spotrebiteľov.

### Podakovanie

Táto publikácia vznikla v rámci projektu PVV 11 „Prenos poznatkov a inovácií v rámci podpory slovenskej produkcie potravín a potravinárskych výrobkov s vyššou pridanou hodnotou“, podporovaného Ministerstvom pôdohospodárstva a rozvoja vidieka SR, kontrakt medzi MPRV SR a NPPC č.1299/2025/MPRVSR-930.

## ČASOVÁ A PRIESTOROVÁ DISTRIBÚCIA IDENTICKÝCH TYPOV *LISTERIA MONOCYTOGENES* VO VÝROBE SYROV

Janka Koreňová – Zuzana Rešková

V práci hodnotíme časovú a priestorovú distribúciu *Listeria monocytogenes* v remeselnej výrobe syrov z ovčieho mlieka v rokoch 2021–2025. Zo 44 izolátov bolo pomocou PCR a MLVA identifikovaných osem MLVA typov, pričom typy B, G a H vykazovali znaky perzistencie a opakovane sa vyskytovali v prostredí. Najrizikovejšími miestami boli lisovacia vaňa, balička a niektoré environmentálne povrchy. Navrhli sme sanitačné opatrenia, ktoré boli čiastočne účinné. V štúdiu sme potvrdili splnenie bezpečnostných a mikrobiologických kritérií podľa nariadenia (ES) č. 2073/2005 u výrobkov a zároveň opodstatnenosť dlhodobého monitoringu výrobného prostredia a cieľných hygienických opatrení.

Mikroorganizmy adaptované na špecifické podmienky výroby potravín často vykazujú vysokú odolnosť a schopnosť dlhodobého prežívania. Dokážu pretrvávajúť v prostredí výroby mesiace až roky, a to aj napriek pravidelným sanitačným postupom či obmedzenému prístupu živín. Za perzistentný možno označiť taký kmeň, ktorý je opakovane izolovaný z rovnakého miesta v definovanom časovom intervale. Kontaminácia prostredia môže postihovať povrchy v priamom kontakte s potravinou, pracovné nástroje, nálevové roztoky, ale aj širšie výrobné zázemie – podlahy, obklady stien, rohože či čistiace textilie. Významným faktorom je materiál povrchov a úroveň hygienického dizajnu zariadení. Rizikové sú najmä plastové materiály a nerezová oceľ v kombinácii so skrytými, pre čistenie ťažko dostupnými miestami. Nie je výnimočné, že kontaminácia prostredia pretrváva aj vtedy, keď sa patogén nenachádza v primárnej surovine.

Najvýznamnejším potenciálne perzistentným patogénom v syrárstve je *Listeria monocytogenes*. Prevádzkovatelia potravinárskych podnikov sú v súlade s článkom 5 Nariadenia (ES) č. 2073/2005 povinní vykonávať monitoring výrobného prostredia a výrobkov.

V rámci výskumnej činnosti nášho oddelenia dlhodobo spolupracujeme s remeselnými výrobcami syrov z ovčieho mlieka. V niektorých prevádzkach sme zaznamenali prítomnosť *L. monocytogenes* v prostredí aj v balených vzorkách výrobkov. Zistené množstvá neprekročili limit 100 KTJ/g, ktorý je povolený pri uvádzaní výrobkov na trh, a preto vzorky výrobkov spĺňali mikrobiologické kritériá podľa nariadenia (ES) č. 2073/2005. Zároveň sme výrobcovi navrhli opatrenia na elimináciu patogénov z prostredia (zmena typu a aplikácie dezinfekčného prostriedku, výmena súčastí niektorých zariadení a pod.).

Pre ďalšiu charakterizáciu patogénu je nevyhnutná jeho izolácia z prostredia. V rokoch 2021–2025 sme z konkrétnej výroby syrov izolovali celkovo 44 izolátov *L. monocytogenes*, z toho 17 izolátov z výrobkov. Na identifikáciu a sérotypizáciu sme použili špecifické PCR systémy. Subtypizáciu sme realizovali multilokusovou analýzou variabilného počtu tandemových repetícií (MLVA). Metóda vychádza z variability počtu repetitívnych sekvencií (VNTR) v troch až piatich lókusoch rôznych kmeňov rovnakého druhu. Na základe MLVA analýzy sme všetky izoláty zaradili do ôsmich MLVA typov (A–H). Najvyšší počet izolátov zodpovedal MLVA typu H (14 ks) a typu B (10 ks). Do MLVA typov A, E, G sme zaradili po 5 ks

**Janka Koreňová, Zuzana Rešková**, Oddelenie mikrobiológie a molekulárnej biológie, Odbor potravinárstva, Sekcia vedy, výskumu a inovácií, Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum, Bratislava.

*Korešpondencia:*

Ing. Janka Koreňová, PhD., Odbor potravinárstva NPPC, Priemyselná 4, 82108 Bratislava.

E-mail: janka.korenova@nppc.sk

až 6 ks izolátov a do MLVA typov C, D, F sme zaradili po 1 ks až 2 ks izolátov. Tieto údaje umožnili analyzovať vzťahy medzi jednotlivými miestami výskytu a určiť priestorovú a časovú distribúciu jednotlivých typov *L. monocytogenes* vo výrobní.

Výsledky analýzy preukázali, že MLVA typy A a C sa vyskytovali výlučne vo výrobkoch v rokoch 2023–2024, resp. 2021 (Tab. 1). Na druhej strane, typ E bol izolovaný výlučne z prostredia v rokoch 2021, 2024 a 2025 (Tab. 1), a to z povrchov steny, lisovacej vane, opakovane z baličky a nebol zachytený vo výrobku (Tab. 2). Typy D a F boli detegované iba v roku 2024, a to vo výrobku aj na povrchoch zariadení (plnička, miešačka, balička) (Tab. 1, Tab. 2).

**Tab. 1.** Priestorová distribúcia jednotlivých MLVA typov *L. monocytogenes* (A–H) vo výrobní syrov počas rokov 2021–2025:

MLVA typ	2021					2023		2024			2025	Počet
	04	05	07	09	10	03	12	01	02	06	06	
A							V			V		2
B				V	**	V		V		*		6
C					V							1
D									**/V			3
E			*		*					*	*	4
F									*/V			2
G									*/V	**	*	5
H	V	V	***/V	V						**	**	11

\* – povrchy zariadení vo výrobní; V – výrobok; Počet – početnosť záchytu konkrétneho MLVA typu.

**Tab. 2.** Časová distribúcia MLVA typov *L. monocytogenes* (A–H) vo výrobní syrov na jednotlivých výrobných zariadeniach a vo výrobkoch.

MLVA typ	Lisovacia Vaňa	Plnička	Miešačka	Balička	Stena	Podlaha	Umývadlo	Výrobok
A								**
B					*		**	***
C								*
D		*	*					*
E	*			**	*			
F				*				*
G	*			**		*		*
H	*			**	*	*	**	****

\* – detekcia jednotlivých MLVA typov *L. monocytogenes* počas vzorkovania v rokoch 2021–2025.

Typ G bol detegovaný v rokoch 2024–2025 na troch povrchoch (balička, lisovacia vaňa, podlaha) aj vo výrobku (Tab. 1, Tab. 2). Typy B a H sa vyskytovali v prostredí aj vo výrobkoch počas celého monitorovaného obdobia 2021–2025 (Tab. 1). Boli identifikované na piatich rôznych povrchoch a opakovane na umývadle a baličke (Tab. 2).

Z analýzy vyplýva, že MLVA typy B a G (séroskopina IIa) a H (séroskopina IVb) sú adaptované na prostredie danej výroby, vykazujú znaky perzistencie a opakovane prenikajú do produktov. Ako najrizikovejšie miesta z výrobných zariadení boli posúdené lisovacia vaňa a balička, z povrchov mimo výrobných zariadení sú to podlaha, obklad steny a umývadlo.

Na základe našich výsledkov a odporúčaní výrobcu upravil sanitačné postupy a vymenil podávací pás na baličke. Opatrenia sa ukázali ako čiastočne účinné – od ich zavedenia nebola vo výrobkoch zistená kontaminácia *L. monocytogenes*. Prítomnosť perzistentných kmeňov v prostredí sa však nepodarilo naraz eliminovať.

Výrobcovi odporúčame pokračovať v zavedených opatreniach, dbať na zníženie rizika environmentálnej alebo krížovej kontaminácie pomocou hygienických bariér, napríklad fyzické oddelenie čistých a nečistých zón, výmena alebo úprava rizikových povrchov, lokálne dezinfekčné zásahy na identifikované kritické miesta. Dlhodobý monitoring výrobkov z tejto výroby potvrdil splnenie mikrobiologických kritérií podľa nariadenia (ES) č. 2073/2005 a zároveň dokazuje, že súčasné výrobné postupy sú bezpečné a nepredstavujú riziko pre spotrebiteľa.

#### Podakovanie

Táto publikácia vznikla v rámci projektu PVV 11 „Prenos poznatkov a inovácií v rámci podpory slovenskej produkcie potravín a potravinárskych výrobkov s vyššou pridanou hodnotou“, podporovaného Ministerstvom pôdohospodárstva a rozvoja vidieka SR, kontrakt medzi MPRV SR a NPPC č.1299/2025/MPRVSR-930.

## MIKROBIOLOGICKÁ KONTAMINÁCIA VZDUCHU V POTRAVINÁRSKÝCH PREVÁDZKACH

Jana Minarovičová

Mikroorganizmy prítomné vo vzduchu potravinárskych prevádzok môžu kontaminovať potraviny a ovplyvniť ich kvalitu a trvanlivosť. Baktérie, kvasinky a vláknité huby, ktoré sa vo vzduchu nachádzajú vo forme aerosólov sa môžu usádzať na povrchoch alebo priamo kontaminovať výrobky. Množstvo mikroorganizmov závisí od typu výroby, surovín a hygienických podmienok v prevádzke. Preto je dôležité pravidelne sledovať mikrobiologickú kvalitu vzduchu. Na jej hodnotenie sa používajú rôzne metódy odberu a analýzy vzoriek vzduchu. Monitoring vzduchu pomáha odhaliť zdroje kontaminácie a predchádzať kazeniu potravín.

Kontaminanty potravín možno definovať ako cudzie látky fyzikálneho, chemického alebo biologického pôvodu. Medzi biologické kontaminanty patria najmä baktérie, kvasinky, vláknité huby, vírusy, spóry, parazity a mikrobiálne toxíny. Mikroorganizmy môžu spôsobovať ochorenia prenášané potravinami alebo sa podieľať na ich kazení. V potravinárskej výrobe sú hlavnými zdrojmi sekundárnej kontaminácie potravín najmä povrchy výrobných zariadení a pracovných pomôcok, personál a kvalita ovzdušia. Hoci sa sekundárna kontaminácia najčastejšie spája s hygienou personálu a zariadení, mikrobiologická kvalita vzduchu predstavuje významný faktor, ktorý závisí od typu produktu a technologického procesu. Kontakt s kontaminovanými povrchmi je považovaný za jeden z hlavných zdrojov kontaminácie potravín. Mikroorganizmy a iné nečistoty zo vzduchu sa môžu zachytávať na povrchoch

**Jana Minarovičová**, Oddelenie mikrobiológie a molekulárnej biológie, Odbor potravinárstva, Sekcia vedy, výskumu a inovácií, Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum, Bratislava.

*Korešpondencia:*

Ing. Jana Minarovičová, PhD., Odbor potravinárstva NPPC, Priemyselná 4, 82108 Bratislava.

E-mail: jana.minarovicova@nppc.sk

prichádzajúcich do priameho alebo nepriameho kontaktu s potravinami a následne sa šíriť v prostredí výroby. Výskyt patogénnych mikroorganizmov vo vzduchu je síce relatívne nízky a vo väčšine prípadov nemá zásadný vplyv na vznik ochorení z potravín, existujú však výrobné procesy, pri ktorých je monitoring kvality ovzdušia nevyhnutný. Typickým príkladom je výroba sušenej dojčenskej výživy. V prevádzkach, kde plnenie výrobkov do obalov nemožno realizovať v aseptických alebo sterilných podmienkach, zohráva sledovanie hygieny vzduchu významnú úlohu pri prevencii mikrobiálneho kazenia potravín.

Správne riadenie kvality ovzdušia môže výrazne obmedziť kontamináciu a šírenie mikroorganizmov v potravinárskej výrobe a malo by byť súčasťou hygienického konceptu prevádzky. Každý potravinársky podnik by mal hodnotiť prítomnosť mikroorganizmov nielen na povrchoch, ale aj vo vzduchu, napríklad prostredníctvom environmentálneho monitorovacieho programu v rámci správnej výrobnéj a hygienickej praxe.

Suspenzia tuhých alebo kvapalných mikroskopických častíc vo vzduchu sa označuje ako aerosól. Ak aerosól obsahuje živé organizmy do veľkosti 50  $\mu\text{m}$ , napríklad baktérie, spóry vláknitých húb, kvasinky alebo vírusy, označuje sa ako bioaerosól. Mikroorganizmy prítomné v bioaerosóloch sa môžu ľahko šíriť prúdením vzduchu, avšak ich rozmnožovanie vo vzduchu je zriedkavé v dôsledku nízkej vlhkosti a nedostatku živín. Napriek tomu môžu vo vzduchu prežívať aj potravinové patogény, najmä ak sú viazané na prachové častice. Kontaminácia kvasinkami a vláknitými hubami prenášanými vzduchom môže výrazne ovplyvniť kvalitu a trvanlivosť potravinárskych výrobkov. Bioaerosól v potravinárskom prostredí zvyčajne predstavuje zmes rôznych mikroorganizmov vrátane bakteriálnych spór (napr. rody *Bacillus* a *Clostridium*), vegetatívnych buniek grampozitívnych baktérií (napr. *Micrococcus*, *Staphylococcus*), vláknitých húb (napr. *Penicillium*, *Cladosporium*, *Alternaria*, *Fusarium*) a kvasiniek (napr. *Saccharomyces*, *Torulasporea*, *Hanseniaspora*, *Pichia*). Monitoring aerosólov by preto mal byť súčasťou štandardných postupov kontroly kvality v potravinárskom priemysle a môže byť zahrnutý aj do systému HACCP.

Hodnotenie mikrobiálnej záťaže vzduchu sa vykonáva odberom reprezentatívnej vzorky vzduchu a jej následnou analýzou. Kvantifikácia a identifikácia bioaerosólov závisí od viacerých faktorov, napríklad od účinnosti odberového zariadenia, veľkosti častíc, pomeru životaschopných a neživotaschopných buniek či použitej analytickej metódy. Metódy odberu vzduchu sa vo všeobecnosti delia na pasívne (sedimentačné) a aktívne. Pasívne metódy využívajú gravitačnú sedimentáciu aerosólov na agarové médiá vystavené vzduchu počas stanoveného času. Zachytenie mikroorganizmov je v tomto prípade ovplyvnené hmotnosťou častíc. Metódy založené na aktívnom odbere vzoriek vzduchu využívajú zariadenia na nasávanie vzduchu a zachytávanie mikroorganizmov na živné médium alebo filter. Môžu využívať princípy nárazovej depozície častíc, filtrácie, odstredovania alebo elektrostatického záchytu častíc. Na trhu existuje množstvo komerčných zariadení, pričom najčastejšie sa používajú prístroje nasávajúce vzduch cez sitové mriežky. Nakoľko zariadenia sú pomerne hlučné, s rôznymi prietokmi vzduchu, finančne náročné, musia sa často kalibrovať a po každom použití sterilizovať, zostávajú pasívne sedimentačné metódy najčastejšie používanými metódami v praxi.

Vzorky získané uvedenými metódami sa analyzujú pomocou kultivačných, mikroskopických, biochemických, imunologických alebo molekulárnych metód. Výber analytickej metódy závisí od požadovanej citlivosti, špecificity, finančnej a časovej dostupnosti. Napriek určitým obmedzeniam kultivačných metód, ako je prítomnosť nekultivovateľných mikroorganizmov alebo použitie jedného univerzálneho média, zostávajú tieto metódy najčastejšie používané pri monitorovaní mikrobioty ovzdušia v potravinárskom priemysle. Na zvýšenie citlivosti je možné ich kombinovať s mikroskopickými alebo molekulárnymi metódami.

Počty mikroorganizmov vo vzduchu potravinárskych prevádzok sa líšia v závislosti od typu výroby a zvyčajne sa pohybujú v rozmedzí 10 až 10 000 KTJ/m<sup>3</sup>. Vyššie koncentrácie mikroorganizmov sa často vyskytujú na bitúnkoch a v mäso spracujúcom, hydínárskom či mlieka-

**Tab. 1.** Vyhodnotenie hygieny vzduchu na základe IMA indexu podľa Pasquarella a kol. (2000).

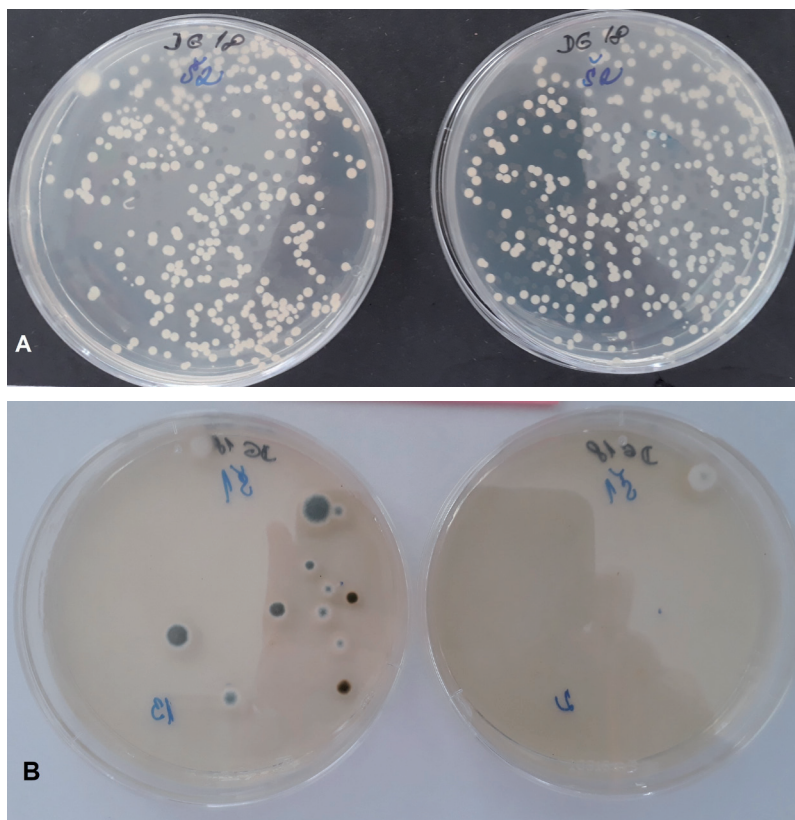
IMA index	KTJ/dm <sup>2</sup> × h	Hygiena vzduchu	Rizikovosť prostredia*
0–5	0–9	veľmi dobrá	veľmi vysoká
6–25	10–39	dobrá	vysoká
26–50	40–84	stredná	stredná
51–75	85–124	zlá	nízka
≥ 76	≥ 125	veľmi zlá	–

\* Rizikovosť prostredia je odstupňovaná na základe nárokov na čistotu prostredia, napr. veľmi vysoká rizikovosť je vo farmaceutickej výrobe, stredná je pre kuchyne, potravinársky priemysel.

renskom priemysle, čo súvisí s prítomnosťou surovín živočíšneho pôvodu, vlhkého prostredia a mokrého režimu sanitácie. Pre potravinárske prevádzky neexistujú jednotne definované mikrobiologické limity kontaminácie vzduchu, keďže mikrobiota ovzdušia predstavuje komplexný ekosystém závislý od typu výroby. Existuje však klasifikácia kontaminácie vzduchu používaná pre vnútorné prostredia, podľa ktorej sa rozlišujú štyri úrovne: veľmi nízka (< 50 KTJ/m<sup>3</sup>), nízka (50–100 KTJ/m<sup>3</sup>), stredná (100–500 KTJ/m<sup>3</sup>) a vysoká (> 500 KTJ/m<sup>3</sup>). Jednoduchý spôsob hodnotenia úrovne hygieny vzduchu pomocou sedimentačnej metódy publikovali Pasquarella a kol. (2000), kde definovali IMA index (index mikrobiálnej kontaminácie vzduchu) na základe výpočtu KTJ/dm<sup>2</sup> × h, pričom KTJ predstavuje počet buniek vyrastených do kolónií na povrchu živného média v Petriho miske s priemerom 9 cm umiestnenej 1 m nad podlahou pri expozičnom čase 1 h a vzdialenej od stien 1 m. K vypočítaným hodnotám priradil IMA indexy charakterizujúce úrovne hygieny vzduchu a rizikovosť monitorovaného prostredia ako je uvedené v Tab. 1.

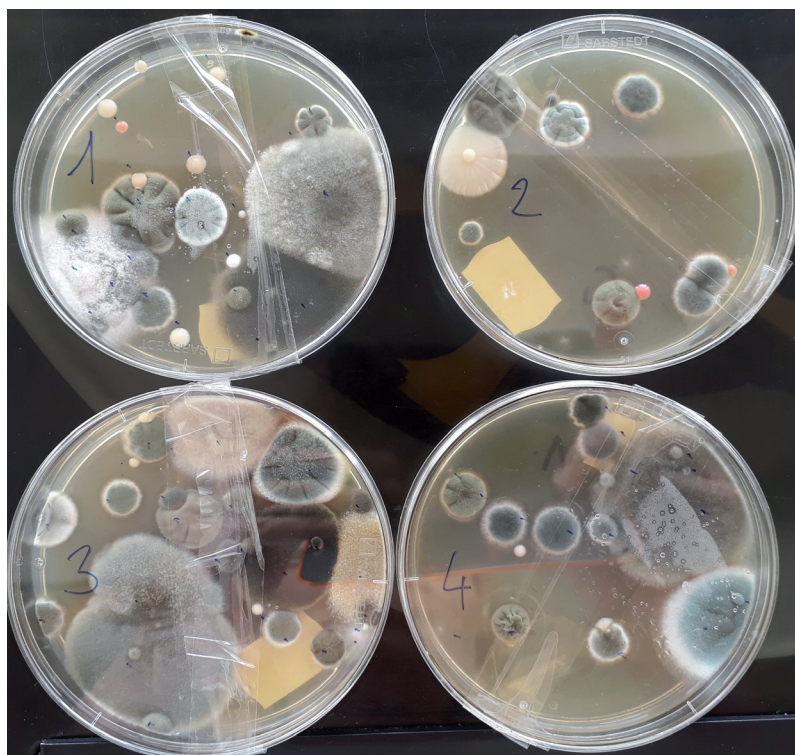
V bežných potravinárskych výrobách nie je vždy možné pracovať v uzatvorených aseptických podmienkach, preto je dôležité pravidelné monitorovanie kvality vzduchu. Preventívne opatrenia na znižovanie mikrobiálnej záťaže zahŕňajú filtráciu vzduchu, pravidelnú výmenu filtrov, použitie UV žiarenia alebo ozonizácie, chemickú dezinfekciu vzduchu, znižovanie vlhkosti a obmedzenie tvorby aerosólov.

**Obr. 1.** Príklad umiestnenia Petriho misiek s rôznymi živnými médiami v blízkosti plniacej linky v rámci monitoringu kontaminácie vzduchu.



**Obr. 2.** Výskyt kvasiniek a vláknitých húb nachádzajúcich sa v prostredí konzervárrenskej výroby.

A – kvasinky, B – vláknité huby.



**Obr. 3.** Príklad rôznorodej mikrobioty získanej kultivačnou sedimentačnou metódou.

V rámci našej poradenskej činnosti ponúkame výrobcam monitorovanie kvality vzduchu v potravinárskych prevádzkach pomocou kultivačnej sedimentačnej metódy. Keďže zloženie mikrobioty sa môže výrazne líšiť, metódu sme modifikovali tak, že baktérie kvantifikujeme na neselektívnom médiu určenom pre baktérie a kvasinky a vláknité huby samostatne na médiu určenom pre ich kultiváciu (Obr. 1).

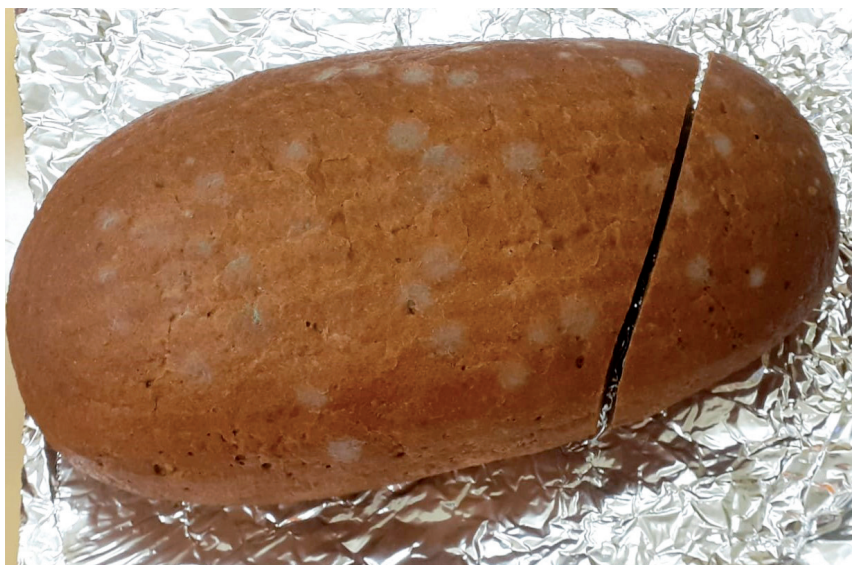
Úroveň hygieny vzduchu závisí od typu prevádzky. Napríklad v konzervárenských výrobach spracúvajúcich ovocie a zeleninu môžu v ovzduší prevládať kvasinky (Obr. 2), čo vyplýva z charakteru spracúvaných surovín a technologického procesu. Pri neaseptickom plnení bez následného tepelného opracovania by mohli predstavovať zvýšené riziko. V pekárskej výrobe môže byť zvýšeným rizikom výskyt spór vláknitých húb (Obr. 3), ktoré môžu sekundárne kontaminovať výrobky a následne spôsobiť kazenie najmä krájaných a balených pekárskych výrobkov (Obr. 4).

Bioaerosóly v potravinárskej výrobe môžu významne prispievať k znehodnocovaniu potravín. V dôsledku prúdenia vzduchu je úplná kontrola prostredia zložitá, preto je už pri projektovaní nových výrobných závodov dôležité správne navrhnuť umiestnenie prívodov a odvodov vzduchu, dverí a technologických zariadení tak, aby sa optimalizovalo prúdenie vzduchu.

Pravidelný monitoring mikrobiálnej kontaminácie ovzdušia predstavuje účinný nástroj na identifikáciu potenciálnych zdrojov kontaminácie a implementáciu nápravných opatrení, čím sa zabezpečuje udržiavanie hygienickej úrovne prostredia v súlade s požiadavkami na konkrétny potravinársky produkt. Identifikované nedostatky pritom nepredstavujú závažné riziko pre kvalitu a bezpečnosť potravín, pokiaľ sú priebežne monitorované a efektívne riadené v rámci zavedeného systému kontroly. V rámci poradenského servisu vieme zabezpečiť a poskytnúť takéto služby potravinárskej praxi.

#### Podakovanie

Táto publikácia vznikla v rámci projektu PVV 11 „Prenos poznatkov a inovácií v rámci podpory slovenskej produkcie potravín a potravinárskych výrobkov s vyššou pridanou hodnotou“, podporovaného Ministerstvom pôdohospodárstva a rozvoja vidieka SR, kontrakt medzi MPRV SR a NPPC č.1299/2025/MPRVSR-930.



**Obr. 4.** Balený chlieb v dobe trvanlivosti, ktorý vykazuje známky prítomnosti vláknitých húb.

## KVANTITATÍVNA IDENTIFIKÁCIA ŽIVEJ MIKROBIOTY V POTRAVINÁCH

Zuzana Rešková

Počet a životaschopnosť mikroorganizmov patria medzi základné ukazovatele kvality a bezpečnosti potravín. Standardne používané kultivačné metódy majú viaceré obmedzenia a neposkytujú úplný obraz o mikrobiote. Stále sa vyvíjajúce nekultivačné prístupy, ako sú napríklad qPCR alebo NGS, dokážu odhaliť detailnejšie údaje, avšak nedokážu rozlíšiť živé bunky od tých mŕtvych. Perspektívnu alternatívu predstavuje vysokokapacitné sekvenovanie kombinované s internou kontrolou a použitím DNA-interkalačných farbív. Takýmto spôsobom je možné vypracovať detailnejšie hodnotenie mikrobiálnej bezpečnosti potravín.

Mikroorganizmy sú prirodzenou súčasťou nášho prostredia a zasahujú prakticky do všetkých oblastí ľudského života. Mimoriadne významnú úlohu zohrávajú aj v potravinárskom priemysle – ovplyvňujú nielen kvalitu a trvanlivosť výrobkov, ale priamo súvisia aj s ich zdravotnou bezpečnosťou. Niektoré druhy pôsobia patogénne, iné sú neutrálne a mnohé sú probiotické, teda prispievajú k pozitívnym vlastnostiam potravín a zdraviu spotrebiteľa. Presná identifikácia a kvantifikácia mikroorganizmov v potravinách je preto kľúčová pre hodnotenie rizika a kontrolu výrobných procesov. Prístupy, pomocou ktorých vieme stanoviť počet mikroorganizmov, rozdeľujeme do dvoch základných skupín – kultivačné a nekultivačné.

### Kultivačné analýzy

Kultivačné analýzy sú v potravinárskej mikrobiológii najčastejšie využívané vzhľadom na ich jednoduchosť, spoľahlivosť a medzinárodne zjednotené postupy. Na druhej strane majú aj viaceré limity a úskalia a neposkytujú pohľad na celú mikrobiotu. Najväčšou nevýhodou je, že nie všetky mikroorganizmy dokážu rásť v laboratórnych podmienkach. Tieto baktérie sú životaschopné, ale nedochádza k ich rozmnožovaniu. Hovoríme, že sú v stave tzv. VBNC (životaschopné, ale nekultivovateľné; Viable But Non Culturable). Medzi ďalšie nevýhody patria časová a laboratórna náročnosť a v neposlednom rade nie je častokrát možné presné taxonomické určenie mikroorganizmu.

### Nekultivačné analýzy

Druhá skupina, nekultivačné analýzy, sú v porovnaní s kultivačnými metódami výrazne rýchlejšie. Umožňujú spracovanie veľkého množstva vzoriek súčasne a poskytujú údaje o širokom spektre mikroorganizmov. Napríklad pomocou imunologických metód, prietokovej cytometrie, digitálnej PCR (ddPCR), kvantitatívnej polymerázovej reťazovej reakcie (qPCR) alebo vysokokapacitného paralelného sekvenovania (NGS) je možné získať nielen informáciu o počte buniek ale aj ďalšie poznatky o mikroorganizmoch, ako sú napríklad identifi-

**Zuzana Rešková**, Oddelenie mikrobiológie a molekulárnej biológie, Odbor potravinárstva, Sekcia vedy, výskumu a inovácií, Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum, Bratislava.

*Korešpondencia:*

Mgr. Zuzana Rešková, PhD., Odbor potravinárstva NPPC, Priemyselná 4, 82108 Bratislava.

E-mail: zuzana.reskova@nppc.sk

kácia metabolických dráh alebo detekcia génov zodpovedných za antibiotikové rezistencie. Ich zásadnou nevýhodou však je, že nedokážu rozlíšiť DNA pochádzajúcu zo živých buniek od DNA uvoľnenej z mŕtvych buniek. Takto získané výsledky môžu preto viesť k nepresnému hodnoteniu mikrobiologickej bezpečnosti potravín.

Na rozlíšenie živej a mŕtvej mikrobioty je možné využiť integritu bunkovej membrány. Na rozdiel od neporušenej membrány živých buniek, poškodená membrána mŕtvych buniek je priepustná. Zavedením DNA-viažucich farbív je možné túto integritu sledovať. V molekulárnych analýzach sa najčastejšie využívajú etídium monoazid (EMA), propídium jodid (PI), propídium monoazid (PMA) alebo jeho novšia verzia PMAxx. Farbivo sa v mŕtvej bunke naviaže na DNA a vytvorí s ním nerozpustný komplex. Tento komplex zabraňuje množeniu DNA, a preto výsledné údaje z PCR analýzy pochádzajú iba zo živých buniek.

Tento prístup v kombinácii s kvantitatívnou PCR (PMA-qPCR) umožňuje určiť presný počet živých mikroorganizmov vo vzorke. Intenzita fluorescenčného signálu pritom priamo súvisí s množstvom DNA, a teda aj s počtom životaschopných buniek. Metóda PMA-qPCR sa ukázala ako spoľahlivý nástroj pre hodnotenie rizika mikrobiologickej bezpečnosti potravín, keď ňou bolo možné identifikovať bakteriálne patogény rodov *Cronobacter* spp, *Escherichia coli* alebo *Salmonella* spp. v mlieku, *Campylobacter* spp. v kuracom mäse alebo druhu *E. coli*, *Staphylococcus aureus*, *Shigella* spp., *Pseudomonas aeruginosa*, a *Klebsiella pneumoniae* v čerstvých džúsoch. Rovnako dôležitou aplikáciou tejto metódy je aj sledovanie množstva mikroorganizmov pozitívne vplývajúcich na kvalitu potravín. Počty živých kultúr *Lactobacillus paracasei* v jogurtoch, počty baktérií mliečneho kysnutia vo fermentovanom mlieku alebo probiotických baktérií pri výrobe syrov boli tiež stanovené uvedenou metódou.

**Tab. 1.** Porovnanie metód kvantifikácie mikrobioty v potravinách.

Metóda	Typ	Výhody	Nevýhody	Rozlíšenie živých/mŕtvych buniek	Časová náročnosť
Tradičné mikrobiologické metódy	kultivačné	jednoduchosť, spoľahlivosť, zjednotenie postupov	obmedzenie pre VBNC, časová náročnosť, nízka špecifickosť	áno	vysoká
Imunologické metódy	nekultivačné	citlivosť, špecifickosť	obmedzenie na vybrané druhy, falošná pozitivita	nie	nízka
qPCR	nekultivačné	rýchlosť, citlivosť, druhová špecifickosť	neschopnosť rozlíšiť živé/mŕtve bunky	nie	nízka
PMA-qPCR	nekultivačné	rozlíšenie živých/mŕtvych buniek, presnosť kvantifikácie	obmedzenie na vybrané druhy	áno	stredná
NGS	nekultivačné	kompletný pohľad na mikrobiotu	neschopnosť rozlíšiť živé/mŕtve bunky, relatívne hodnoty	nie	stredná
PMA-NGS	nekultivačné	absolútny profil iba živých buniek	vyššia technická náročnosť	áno	stredná

qPCR – kvantitatívna polymerázová reťazová reakcia, PMA – propídiummonoazid, NGS – vysokokapacitné paralelné sekvenovanie (novej generácie), VBNC – životaschopné, ale nekultivovateľné bunky.



Sekvenátor tretej generácie na pracovisku Odboru potravinárstva NPPC

Napriek vysokej citlivosti a praktickému využitiu má metóda PMA-qPCR isté obmedzenia, keďže umožňuje identifikovať len jeden alebo niekoľko málo bakteriálnych taxónov. Schopnosť súčasne charakterizovať celú mikrobiotu potraviny v jednej analýze poskytujú výlučne sekvenačné metódy novej generácie (NGS). Na druhej strane klasické NGS metódy poskytujú iba údaje o relatívnom zastúpení mikroorganizmov v spoločenstve a nedokážu rozlíšiť živé a mŕtve bunky. Spomínané nedostatky je možné odstrániť spojením oboch metód (PMA-NGS) a zavedením tzv. „spike-in“ štandardu. Táto vnútorná kontrola pomáha eliminovať chyby v celom procese od DNA izolácie až po prípravu sekvenačných knižníc.

Prvé výsledky naznačujú, že PMA-NGS dokáže poskytnúť veľmi presné údaje porovnateľné s klasickými kultivačnými metódami. V prípade fermentovanej kyslej kapusty sa potvrdilo, že táto modifikovaná analýza poskytuje ucelený obraz o živej mikrobiote, ktorý korešponduje s výsledkami viacerých kultivačných aj nekultivačných prístupov.

Napriek rýchlemu rozvoju molekulárnych analýz v rutinej analýze potravín naďalej dominuje stanovenie počtu bakteriálnych kolónií rastúcich na kultivačných médiách. Na to, aby sa molekulárne analýzy stali ich plnohodnotnou alternatívou, je nevyhnutné zvýšiť ich dostupnosť, ekonomickú efektívnosť a zabezpečiť zjednotenie postupov. Zavedenie techník ako sú PMA-qPCR či PMA-NGS do rutinných potravinových analýz môže výrazne zlepšiť úroveň kontroly bezpečnosti potravín a prispieť k vyššej ochrane zdravia spotrebiteľov.

V oblasti potravinovej bezpečnosti a kvality potravín sa na Odbore potravinárstva NPPC dlhodobo venujeme nielen klasickým kultivačným mikrobiologickým analýzám, ale aj implementácii moderných molekulárnych metód. V uplynulých rokoch sa nám podarilo úspešne publikovať výsledky výskumu mikrobioty potravín založené na sekvenačných technológiách druhej aj tretej generácie. V tomto trende a tiež implementácii nových pokročilých metód plánujeme pokračovať aj naďalej.

#### Podakovanie

Táto publikácia vznikla v rámci projektu PVV 11 „Prenos poznatkov a inovácií v rámci podpory slovenskej produkcie potravín a potravinárskych výrobkov s vyššou pridanou hodnotou“, podporovaného Ministerstvom pôdohospodárstva a rozvoja vidieka SR, kontrakt medzi MPRV SR a NPPC č.1299/2025/MPRVSR-930.

## ZVINUTKA – VÍRUSOVÉ OCHORENIE VINIČA

Ervín Jankura – Katarína Ženišová

Zvinutka je ochorenie viniča spôsobené komplexom vírusov, ktoré znižuje úrodu a kvalitu hrozna a postupne skrakuje životnosť krov. Článok stručne opisuje pôvodcu ochorenia, príznaky na viniči a rozdiely oproti výživovým poruchám, škodlivosť, spôsoby šírenia a uvádza používané postupy diagnostiky patogénu a možnosti ochrany proti ochoreniu v podmienkach Slovenskej republiky.

Zvinutka viniča patrí medzi najvýznamnejšie nekaranténne vírusové choroby viniča hroznorodého (*Vitis vinifera*) hlavne v chladnejších vinohradníckych regiónoch Európy vrátane Slovenskej republiky. Ochorenie nie je spôsobené jediným vírusom, ale skupinou príbuzných vírusov (podľa najnovších poznatkov až siedmimi vírusmi) označovaných ako grapevine leafroll-associated viruses (GLRaV). Na Slovensku sa za najškodlivejšie považujú druhy/sérotypy *Ampelovirus univitis* – GLRaV1 a *Ampelovirus trivitis* – GLRaV3 (názvy a kódy druhov podľa klasifikácie v globálnej databáze Európskej a stredomorskej organizácie na ochranu rastlín – EPPO).

Vírusy sa nachádzajú vo floéme (cievných zväzkoch rozvádzajúcich sacharidy a ďalšie živiny z listov do zvyšku rastliny) a zhoršujú transport asimilátov v rastline viniča, čo sa prejaví znížením vitality, oneskoreným dozrievaním a horšou technologickou zrelosťou hrozna. Ochorenie skrakuje životnosť krov, kry rodia nepravidelne, v nepriaznivých rokoch pri silnom napadnutí môže byť úroda výrazne znížená o 40–60 %, v krajnom prípade úplne eliminovaná. Kvalita hrozna klesá – pozorované bolo aj zníženie obsahu cukru a zvyšovanie obsahu kyselín.

Vo vinohrade sa ochorenie prejavuje najmä zvinovaním listov a typickým sfarbovaním medzižilového pletiva. Prvé príznaky môžu byť viditeľné už koncom júna až v júli ako zvinovanie okrajov spodných listov smerom nadol. Zvinovanie sa postupne rozširuje aj na mladšie listy. Zvinuté listy postupne hrubnú, sú drsnejšie, matnejú a krehnú (pri stlačení sa lámu, praskajú). Príznaky sa často zvyrazňujú v druhej polovici vegetácie, pričom najtypickejším obraz sa vytvára koncom augusta až začiatkom septembra – listy na napadnutých koch sa predčasne zafarbiajú: pri bielych odrodách sa medzižilové pletivo nepravidelne zafarbuje do žltá, pri modrých odrodách do červena (Obr. 1). Úzky pásik pozdĺž hlavných žíl ostáva zelený. Toto obdobie je najvhodnejšie na odlíšenie chorých rastlín od zdravých. Podpníkové (a často aj hroznorodé) odrody bývajú napadnuté latentne (bez viditeľných príznakov), čo komplikuje vizuálny monitoring v porastoch.

Z praktického hľadiska je dôležité aj odlíšiť zvinutku od deficiencií niektorých minerálnych prvkov (najmä draslíka, horčíka, prípadne bóru), ktoré tiež spôsobujú chlorózy a nekrotizácie. Pri viróze však prevažuje kontrastný úzky pásik zeleného pletiva pozdĺž žíl (pri deficite

**Ervín Jankura**, Oddelenie chémie a analýzy potravín, Odbor potravinárstva, Sekcia vedy, výskumu a inovácií, Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum, Bratislava.

**Katarína Ženišová**, Oddelenie mikrobiológie a molekulárnej biológie, Odbor potravinárstva, Sekcia vedy, výskumu a inovácií, Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum, Bratislava.

*Korešpondencia:*

Ing. Ervín Jankura, Odbor potravinárstva NPPC, Priemyselná 4, 82108 Bratislava.

E-mail: ervin.jankura@nppc.sk

minerálnych prvkov je pásik širší, nepravidelný resp. zužujúci sa smerom okraju listu), listy sa stáčajú nadol a symptómy bývajú opakovane každý rok na tých istých kroch. Zvinutka sa často zamieňa s ochoreniami ako fytoplazmóza stolburu alebo karanténna fytoplazmóza žltnutia viniča, pretože majú veľmi podobné príznaky. Spoľahlivo ich však možno odlíšiť iba pomocou laboratórných testov. Fytoplazmózy nespôsobujú vírusy, ale špecifické mikroorganizmy podobné baktériám – tzv. fytoplazmy. Tieto organizmy nemajú pevnú bunkovú stenu, majú veľmi malý genóm a len ako parazity v hostiteľských rastlinách. Pojem „karanténne ochorenie“ označuje chorobu spôsobenú škodcom, ktorý sa v danom území vyskytuje len obmedzene, no predstavuje vážne riziko pre rastliny. Preto sa proti nemu prijímajú povinné opatrenia na jeho eradikáciu alebo zabránenie jeho šírenia. Podrobnejšie informácie o zlatom žltnutí viniča nájdete v článku „Zlaté žltnutie viniča ako karanténna hrozba pre vinohradníkov“, publikovanom v časopise Trendy v potravinárstve (roč. 30, č. 2, 2025).

Primárny vstup vírusu do vinohradu je najčastejšie viazaný na infikovaný množiteľský materiál (očká, vrúbky, sadenice), keďže vírusy sa pri vegetatívnom množení viniča prenášajú veľmi účinne. V slovenskej legislatíve sa preto požaduje testovanie množiteľského materiálu viniča na uvedené sérotypy, aby sa obmedzil primárny zdroj infekcie pri zakladaní výsadiieb. Sekundárne šírenie v poraste spôsobujú najmä cicavé druhy hmyzu – červce (z čeľade *Pseudococcidae*) a niektoré puklice (z čeľade *Coccidae*), ktoré pri cicaní na viniči dokážu preniesť vírus na susedné kry.

Pri monitoringu a diagnostike sa odporúča kombinovať vizuálne prehliadky s laboratórnym potvrdením prítomnosti vírusu. Vizuálny monitoring sa zameriava na neskoré letné obdobie, keď je vyfarbenie listov najvýraznejšie. Na potvrdenie infekcie sa rutinne využívajú sérologické metódy (ELISA), prípadne molekulárne metódy (RT-PCR), ktoré umožňujú zachytiť aj latentné infekcie a overiť zdravotný stav materských krov a sadbového materiálu. V praxi sa osvedčuje mapovanie ohnísk výskytu, označovanie podozrivých príznakových a potvrdených infikovaných krov a opakované hodnotenie v nasledujúcej sezóne, keďže intenzita príznakov môže medzi rokmi kolísať. Súčasne je vhodné monitorovať výskyt vektorov.

V rámci úlohy odbornej pomoci „Zabezpečenie plnenia nariadenia Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) č. 1308/2013, pokiaľ ide o spoločnú organizáciu trhu s vínom“ každoročne testujeme metódou ELISA (Obr. 2, Obr. 3) výskyt zvinutky podľa Nariadenia vlády SR č. 49/2007 Z. na genetických zdrojoch viniča v technickom a priestorovom izoláte viniča, umiestnených v areáli Odboru rastlinnej výroby NPPC v Piešťanoch. Výsledky z posledných



Biela odroda viniča



Modrá odroda viniča

**Obr. 1.** Sfarbenie listov s diagnostikovanou zvinutkou.

rokov ukazujú, že uchovávaný viničový materiál je bezvírový. Prípadné infikované kry sú z porastu hneď eliminované. Tiež identifikujeme zvinutku v rôznych vinohradníckych oblastiach na Slovensku v rámci spolupráce so ZVVS (Zväz vinohradníkov a vinárov Slovenska) – projekt „Monitorovanie kvasinkovej mikroflóry a vplyvov prostredia v ekosystéme viniča“ a zákazkových analýz, kde pomerne často zisťujeme výskyt tohto ochorenia vo vysadených vinohradoch.

Pri vírusoch nie je k dispozícii priama „liečba“ napadnutého kra v poraste. Na ochranu proti zvinutke viniča nie sú registrované žiadne prípravky a ochrana je založená na prevencii a sanitácii. Základom je výsadba certifikovaného, testovaného bezvírusového materiálu; toto opatrenie má najvyššiu účinnosť, pretože minimalizuje primárne zavlečenie choroby. Vo vysadených vinohradoch sa odporúča včasné odstránenie infikovaných krov, ideálne ešte pred tým, ako sa choroba stihne rozšíriť v rámci porastu.

Ďalšími opatreniami sú ochrana viniča proti vektorom a likvidácia burín. Pri prácach vo vinohrade je vhodné zohľadniť aj všeobecné hygienické opatrenia pri reze (oddelené náradie pre rizikové kry, dezinfekcia) a pri likvidácii starých výsadiieb dôsledne odstrániť koreňové zvyšky, staré drevo a výmladky, ktoré môžu byť rezervoárom škodcov. Zvinutka viniča je v Slovenskej republike trvalým rizikom najmä preto, že sa môže šíriť pomerne nenápadne a dlhodobo prostredníctvom množiteľského materiálu a vektormi.

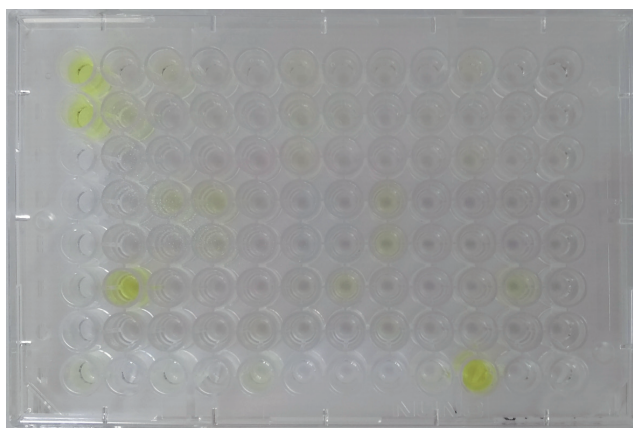
Vinohradnícka prax by mala stavať na pravidelných prehliadkach porastu koncom leta, laboratórnom potvrdení výskytu vírusu v príznakových koch a na používaní certifikovaného množiteľského materiálu. Pri včasnom odhaľovaní ohnísk a kombináciou odstraňovania napadnutých krov s ochranou proti vektorom a burinám je možné udržať hospodárske škody spôsobené chorobou na prijateľnej úrovni a predĺžiť životnosť vinohradov.

### Podakovanie

Táto práca vznikla v rámci úlohy odbornej pomoci ÚOP 18 „Zabezpečenie plnenia nariadenia Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) č. 1308/2013, pokiaľ ide o spoločnú organizáciu trhu s vínom“ a rezortného projektu výskumu a vývoja RPVV 13 „Monitorovanie kvasinkovej mikroflóry a vplyvov prostredia v ekosystéme viniča“, podporovaných Ministerstvom pôdohospodárstva a rozvoja vidieka; kontrakt medzi MPRV SR a NPPC č. 1299/2025/MPRVSR-930.



Obr. 2. Kit na diagnostiku vírusov metódou ELISA.



Obr. 3. Mikroplatnička s výsledkami testov na zvinutku pomocou ELISA metódy.

Žlté sfarbenie jamiek znamená pozitívny výskyt vírusu vo vzorke, v ľavom hornom rohu sú pozitívne kontroly z kitu.

## METOXYPYRAZÍNY A ICH VPLYV NA ARÓMU VÍNA

Mária Kopuncová – Janka Kubincová

Metoxypyrazíny sú prchavé dusíkaté heterocyklické zlúčeniny, ktoré sú významné z potravinárskeho hľadiska predovšetkým v odvetví vinohradníctva a vinárstva, pretože významne prispievajú k zeleným, rastlinným až zemitým tónom v aróme vína. Akumuláciu týchto látok v hrozne aj víne je dôležité regulovať, aby sa ich koncentrácie udržali v žiaducich rozmedziach, ktoré prispievajú k odrodovému charakteru vína, ale zároveň nemajú negatívny vplyv na jeho komplexnú arómu. Z týchto dôvodov sú metoxypyrazíny dôležitou skupinou zlúčenín, ktorú je potrebné sledovať s cieľom určiť faktory, ktoré ovplyvňujú ich koncentráciu v celom procese výroby vína, od produkcie hrozna až po zrenie vína vo fľašiach.

Pyrazíny sú prchavé dusíkaté heterocyklické zlúčeniny, ktoré významným spôsobom ovplyvňujú arómu mnohých druhov potravín. Vznikajú následkom tepelného spracovania potravín ako produkty Maillardových reakcií, prostredníctvom činnosti mikroorganizmov prítomných v potravinách, ale môžu byť aj prirodzene prítomné v niektorých druhoch rastlín. Konkrétne metoxypyrazíny (MP) predstavujú skupinu pyrazínov, ktoré sú biochemicky tvorené samotnými rastlinami a prispievajú k rastlinnej, zeleninovej alebo až zemitej aróme viacerých druhov zeleniny, ako je napr. hrášok, šalát, špargľa a zemiaky. Sensorický vnem, s ktorým sú asociované sa často popisuje ako pach čerstvej sladkej papriky.

Záujem o MP je značný predovšetkým vo vinohradníctve a vinárstve, keďže predstavujú kľúčové odoricky-aktívne zlúčeniny širokej škály významných odrôd vínnej révy. Keďže majú veľmi nízky olfaktorický prah detekcie, výrazným spôsobom ovplyvňujú arómu a chuť vína. Zvyčajne sa vo zvýšenej miere vyskytujú vo vegetatívnych tkanivách a nezrelých plodoch hrozna. Ich prítomnosť prispieva k rastlinnej, listovej, zeleninovej, zemitej až orechovej a potuchnutej aróme vína. Typické sú predovšetkým pre odrody viniča Sauvignon blanc, Cabernet Sauvignon, Cabernet franc, Merlot a Carménère. Nízke koncentrácie MP prispievajú k odrodovému charakteru týchto vín a dopĺňajú komplexnosť ich arómy. Avšak vo vyšších koncentráciách, ak sú dominantnými zlúčeninami v aróme vína, ľahko znižujú jeho sensorickú kvalitu a považujú sa za nežiaduce.

Najvýznamnejším endogénnym MP nachádzajúcim sa v hrozne je 3-izobutyl-2-metoxypyrazín (IBMP). Naopak, sek-butyl-2-metoxypyrazín (SBMP), 3-izopropyl-2-metoxypyrazín (IPMP) a 2,5-dimetyl-3-metoxypyrazín (DMMP) sa endogénne vyskytujú v hrozne v nižších koncentráciách, ale často sa do vín dostávajú exogénne prostredníctvom plodov kontaminovaných hmyzom z čeľade lienkovité. Typická celková koncentrácia MP vo víne sa pohybuje v rozmedzí 1 – 40 ng/l. IBMP sa najčastejšie nachádza na úrovni 5 – 30 ng/l, ale v niektorých odrodách môže dosiahnuť až 160 ng/l. Sensoricky je možné detegovať MP v hrozne a víne už v stopových koncentráciách na úrovni nanogramov/liter. Špecifické sensorické prahy detekcie týchto látok pre človeka vo víne sú pre IBMP 5 – 16 ng/l, SBMP 1 – 2 ng/l, IPMP 0,3 – 2 ng/l a DMMP 31 ng/l.

**Mária Kopuncová, Janka Kubincová**, Oddelenie chémie a analýzy potravín, Odbor potravinárstva, Sekcia vedy, výskumu a inovácií, Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum, Bratislava.

*Korešpondencia:*

Ing. Mária Kopuncová, PhD., Odbor potravinárstva NPPC, Priemyselná 4, 82108 Bratislava.

E-mail: maria.kopuncova@nppc.sk

Vzhľadom k tomu ako výrazne dokážu MP ovplyvniť vôňu a chuť vína je pochopenie faktorov, ktoré ovplyvňujú ich produkciu a akumuláciu vo vínnej réve a teda aj vo víne veľmi dôležité pre vinohradníctvo aj vinársky priemysel. Na syntézu, degradáciu a konečnú koncentráciu endogénnych MP v hrozne má vplyv najmä odroda viniča a pôdne i klimatické podmienky charakteristické pre jednotlivé oblasti jeho pestovania. Klimatické zmeny v podnebí prispievajú aj k šíreniu a prežívaniu hmyzu, ktorý predstavuje exogénny zdroj MP.

MP sa nachádzajú v celej vínnej réve, vrátane bobúľ, stoniek, stopky strapca, listov, výhonkov a koreňov. Pre výrobu kvalitného vína je preto potrebné obmedziť prímes zelených častí vínnej révy. Moderné zberové zariadenia, vrátane technológie optického triedenia, umožňujú znížiť množstvo materiálu s vysokou koncentráciou MP, ktorý sa môže dostať do zberných nádob a fermentačných nádrží, čím sa zníži celková hladina MP a iných nežiaducich zlúčenín v hotových vínach. Okrem toho je možné obsah MP vo víne regulovať aj technologickými zásahmi v procese produkcie a zrenia vína. Prehľad najčastejšie používaných metód je zhrnutý v Tab. 1.

**Tab. 1.** Prehľad možných zásahov vo vinárstve na odstránenie metoxypyrazínov (MP) alebo zelenej, rastlinnej arómy súvisiacej s prítomnosťou MP v hrozbovej šťave a víne.

Typ zásahu	Zásah	Matrica	Cieľové zlúčeniny	Účinnosť
Čírenie	bentonit, prirodzené usadenie	šťava	IBMP	stredná
Záhrev a kyslík	termovinifikácia	šťava	IBMP	stredná
	flash détente	šťava, mušt	IBMP	vysoká
	mikrooxygénácia	víno	neuveďené	uspokojivá
Balenie	uzáver a typ balenia	víno	IBMP, SBMP, IPMP	stredná
Žiarenie/ožiarovanie	svetlo a UV žiarenie	víno	IPMP	slabá
	ožiarenie 100 Gy	víno	neuveďené	nízka
Fermentácia	vybrané kmene kvasiniek	šťava	IPMP	slabá
Číriace prostriedky a prísady	aktívne uhlie, bentonit	víno	IPMP	nízka
	dubové piliny	víno	IPMP	stredná
	proteíny viažúce odoranty	šťava	IPMP, IBMP	vysoká
Polyméry	prírodné a syntetické uzávěry	víno	IBMP, SBMP, IPMP	stredná
	silikón	šťava, mušt	IBMP, IPMP	vysoká
	plastové polyméry	víno	IBMP, SBMP, IPMP	stredná
	kyselina polymliečna	víno	IBMP, SBMP, IPMP	uspokojivá
	magnetické polyméry	víno	IBMP	vysoká

IBMP – 3-izobutyl-2-metoxypyrazín, SBMP – sek-butyl-2-metoxypyrazín, IPMP – 3-izopropyl-2-metoxypyrazín.

V bobuliach hrozna sa MP akumulujú pred začiatkom zrenia a následne nastáva rýchly pokles ich koncentrácie počas dozrievania až do obdobia zberu. Biosyntézu MP výrazne ovplyvňuje slnečné žiarenie. Vystavenie slnečnému svetlu podporuje tvorbu MP v nezrelých bobuliach. Na druhej strane, MP sú citlivé na svetlo a rýchlo podliehajú fotodegradácii. Okrem svetla je dôležitým faktorom pre pokles MP aj teplota. Predovšetkým vyššie teploty v nočných hodinách spôsobujú rýchlejší pokles MP. Konečná koncentrácia MP v hrozne je tak výsledkom rovnováhy medzi ich biologickou tvorbou a degradáciou počas celého procesu zrenia bobúľ.

Z vyššie uvedeného vyplýva, že klimatické podmienky majú zásadný vplyv na obsah MP. Vína produkované v teplejších rokoch majú nižší obsah MP. Rovnako vína z teplejších

regiónov majú nižšie hladiny MP oproti vínam z chladnejších oblastí. Otepľovanie v dôsledku klimateckej zmeny tak môže znížiť obsah MP v neskôr dozrievajúcich odrodách, ktoré sa typicky pestujú v regiónoch s chladným podnebí. Naopak, dlhšie a teplejšie obdobia zrenia nemusia byť prospešné v teplejších vinárskych regiónoch, kde nemusí byť obsah MP dostatočný na zachovanie odrodového charakteru niektorých typov vína. Otepľujúce sa podnebie tiež prospieva k rozšíreniu a prežívaniu invazívnych lienok východných (*Harmonia axyridis*). Keď sa lienky z vinice dostanú do hrozna počas zberu, zložka MP obsiahnutá v ich krvomiazge môže ovplyvniť hroznovú šťavu aj výsledné víno. Približne 1,3–1,9 chrobáka/kg hrozna stačí na to, aby bola prítomnosť týchto exogénnych MP sensoricky postrehnuteľná.

Taktiež vlastnosti pôdy ovplyvňujú obsah MP vo vínach, keďže odvodnenie pôdy, úrodnosť a schopnosť zadržiavať vodu ovplyvňujú vitálnosť viniča. Vína s výraznejšou rastlinnou arómou sú spojené s hlbokými, ílovitými pôdami, ktoré sú bohaté na živiny a majú vysokú schopnosť zadržiavať vodu. Naopak, ovocné vína boli spojené s plytkou, piesčitou pôdou, ktorá je chudobná na živiny a má nízku schopnosť zadržiavať vodu. Výdatne zavlažované rastliny produkujú vyššiu priemernú koncentráciu MP v porovnaní s nezavlažovanými alebo len minimálne zavlažovanými rastlinami vínnej révy.

Problematické hodnoty MP je možné upraviť aj v procese výroby vína. Dôležitá je predovšetkým voľba vhodnej doby macerácie, ktorá umožní extrakciu žiaducich zlúčenín bez rizika nadmernej extrakcie MP. Vhodnou metódou na zníženie hladín MP vo výsledných produktoch je aj čírenie vína. Termovinifikácia, teda proces zahrievania muštu na 60–80 °C na krátku dobu pred fermentáciou s cieľom zvýšiť extrakciu fenolických látok taktiež umožňuje znížiť obsah MP. Ešte účinnejšia je termovinifikácia s následným schladením vo vákuu (flash détente). Ďalšou možnou úpravou je použitie prírodných aj syntetických polymérov na minimalizáciu bylenných a rastlinných tónov v aróme. Taktiež mikrooxygénácia znižuje rastlinný charakter vín. Patentovaná bola aj technológia využívajúca bielkovinu, ktorá sa viaže na MP pri pH približne 3–4, čím sa vytvorí komplex bielkovina-MP, ktorý sa následne odstráni.

Uvedené technológie sa môžu použiť na úpravu vysokých hladín MP vo víne, avšak nie sú vždy vhodné alebo realizovateľné, pretože môžu mať ďalší negatívny vplyv na kvalitu vína, prípadne víno, ktoré sa vyrobí, nemusí spĺňať štandard, ktorý bol pôvodne vinárom zamýšľaný.

Na Odbore potravinárstva NPPC sa aktuálne rieši projekt zameraný na výskum a vývoj nových procesov na odstránenie nežiaduceho histamínu, ako aj ďalších biogénnych amínov z vína. Vzhľadom k tomu, že použité inovatívne technológie úpravy vína môžu potenciálne ovplyvniť aj jeho organoleptické vlastnosti bude v rámci projektu venovaná pozornosť aj analýzam prchavých zlúčenín, ktoré významným spôsobom ovplyvňujú arómu vína. Pyrazíny a najmä MP ako dusíkaté zlúčeniny predstavujú komponenty prchavej frakcie vína, ktorých obsah vo víne môže byť potenciálne najviac ovplyvnený použitou technológiou a môžu byť odstránené spolu s nežiaducimi biogénnymi amínmi.

MP sa vo vínach nachádzajú vo veľmi nízkych koncentráciách, pri ktorých nemajú žiadne priame cytotoxické účinky na ľudí a nie je známa ani ich toxicita pre životné prostredie. Napriek tomu je dôležité kontrolovať ich obsah, keďže už v stopových koncentráciách sa významným spôsobom podieľajú na charaktere arómy vína a môžu negatívne ovplyvniť jeho sensorickú kvalitu a v konečnom dôsledku aj akceptáciu vína spotrebiteľmi.

#### Podakovanie

Tento príspevok bol vytvorený realizáciou projektu Agentúry na podporu výskumu a vývoja APVV-23-0234 „Výskum a vývoj nových procesov na odstránenie nežiaduceho histamínu z vína“.

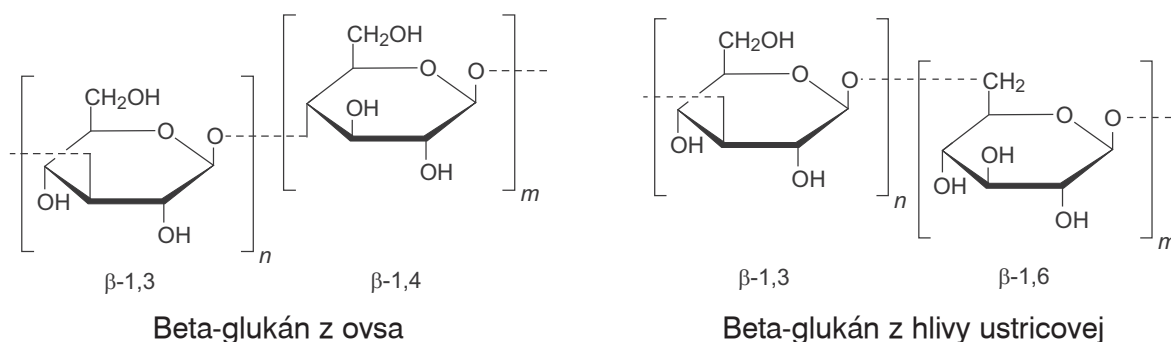
## BETA-GLUKÁNY V JOGURTOCH

### potenciál využitia a detekcia pomocou enzymatických súprav

Barbara Brežná

Beta-glukány, polysacharidy z obilnín, húb či kvasiniek, sa skúmajú z hľadiska pridávania do jogurtov na zlepšenie textúry a potenciálnych zdravotných benefitov, ako sú prebiotické či imunomodulačné účinky, čím vznikajú funkčné potraviny. Jednou z možností analytického stanovenia sú enzymatické kity Megazyme. Kit K-BGLU je vhodný na detekciu obilných beta-glukánov v jogurtoch. K-YBGL sa používa na detekciu kvasinkového a hubového beta-glukánu, nie je však prispôsobený na použitie v jogurtovej matrici. Keďže na našom pracovisku máme skúsenosti s prípravou beta-glukánových preparátov, plánujeme aj ich analytické stanovenie a skúsime možnosť úpravy postupu K-YBGL pre jogurtové vzorky.

Beta-glukány sú polysacharidy zložené z glukózových jednotiek spojených beta-glykozidovými väzbami (Obr. 1), ktoré sa prirodzene vyskytujú v bunkových stenách húb, kvasiniek, niektorých rastlín, lišajníkov a rias. Produkujú ich aj niektoré baktérie, často konkrétne technologické bakteriálne kmene (Tab. 1).



Obr. 1. Príklady štruktúry beta-glukánov.

Vo vode sú beta-glukány čiastočne rozpustné a schopné tvoriť hydrogély, čo im dáva využiteľné technologické vlastnosti. (Celulóza, hoci chemicky tiež beta-glukán, sa vo vode nerozpúšťa a zvyčajne sa z funkčného hľadiska medzi beta-glukány nezaraďuje. Nerozpustný paramylon však áno. Terminológia nemá presné hranice.) Vďaka nestráviteľnosti ľudskými enzýmami sa beta-glukány považujú za zdroj vlákniny. Črevné baktérie ich čiastočne fermentujú, čo môže viesť k prebiotickým účinkom.

**Barbara Brežná**, Oddelenie mikrobiológie a molekulárnej biológie, Odbor potravinárstva, Sekcia vedy, výskumu a inovácií, Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum, Bratislava.

*Korešpondencia:*

Ing. Barbara Brežná, PhD., Odbor potravinárstva NPPC, Priemyselná 4, 82108 Bratislava.

E-mail: barbara.brezna@nppc.sk

Tab. 1. Príklady typov beta-glukánu a ich vlastnosti.

Prírodný zdroj beta-glukánu	Upresnenie – príklady	Štruktúra	Čiastočne dokázané zdravotné účinky*	Technologické efekty v jogurte
Obilniny (čelad' Poaceae)	ovos, jačmeň	beta(1-3)(1-4) väzby bez vetvenia	znižovanie cholesterolu, zníženie glykemickej odpovede*	zvýšenie viskozity, zlepšenie textúry (v optimalizovaných podmienkach)
Makroskopické huby	hliva ustricová, šitake, maitake, reishi	beta(1-3) reťazce s krátkymi beta(1-6) vetvami	Imuno-modulácia (aktivácia makrofágov, NK buniek)	variabilný vplyv na textúru a stabilitu, nutné optimalizovať podmienky
Kvasinky	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	beta(1-3) reťazce s beta(1-6) vetvami	Imuno-modulácia, podpora črevnej imunity	úprava viskozity a reologických vlastností nízkotučného jogurtu
Mikroriasy	<i>Euglena gracilis</i>	beta(1-3) reťazce bez vetvenia (paramylon, nerozpustný)	imunomodulačné účinky, limitovaný prebiotický efekt	nedostupné údaje
Hnedé riasy (chaluhy)	<i>Durvillea antarctica</i>	beta(1-3) reťazce s beta(1-6) vetvami (= laminarín)	imunomodulačné a metabolické účinky	netestované
Baktérie	<i>Pediococcus parvulus</i> 2.6	beta(1-3) reťazce s beta(1-2) vetvením	prebiotický efekt, modulácia mikrobioty, znižovanie cholesterolu	nie významné
Baktérie	<i>Agrobacterium puense</i> ZX09	zmiešaný alfa/beta-glukán, lineárny 7 beta(1-3) + 2alfa(1-3) (= salecan)	Účinky proti obezite, prebiotické, imuno-modulačné	zvýšenie viskozity, zníženie synerézy
Baktérie	<i>Paenibacillus polymyxa</i> JB115	menšinová beta-glukánová frakcia exopolysacharidu: beta(1-3) reťazce s dlhšími beta(1-6) vetvami	Imunomodulácia in vitro	netestované

\*Zdravotné účinky v prípade cereálnych beta-glukánov sú plne preukázané a uznávané regulačnými autoritami. Pre iné typy beta-glukánov sa dôkazy považujú za čiastočné.

V posledných rokoch sa skúma možnosť pridávania beta-glukánov do jogurtov. Výskumníci si od toho sľubujú viaceré výhody, ako zlepšenie textúry, podporu baktérií mliečného kvasenia a zdravotné benefity. Najmä pri výrobe nízkotučných jogurtov sa stráca požadovaná konzistencia a musí sa následne upravovať prídavkom škrobu alebo zahusťovadiel, prípadne použitím mliekarenských kultúr, ktoré zahusťujúce látky produkujú. Skúma sa možnosť úplne alebo čiastočne nahradiť tieto látky beta-glukánmi. Probiotická podpora baktérií mliečného kvasenia a iné perspektívne zdravotné efekty (metabolické alebo imuno-modulačné) by boli bonusom navyše. Výsledkom by boli takzvané funkčné potraviny. Nádejné zdravotné a technologické vlastnosti sú zhrnuté v Tab. 1.

Dôležitou pripomienkou je, že technologické vlastnosti beta-glukánov v jogurte závisia od konkrétnej situácie a je nutné optimalizovať dávku, prídanie pred či po fermentácii, kombináciu s inými aditívami atď. Pri nevhodnom nastavení môžu totiž nastať neželané javy,

napríklad zvýšenie tekutosti namiesto zahustenia. V publikovaných štúdiách sa prevažne skúmalo dávkovanie 0.1 – 1.5%.

Pravidlá pre uvádzanie zdravotných účinkov na potravinách a výživových doplnkoch podliehajú vysokým štandardom. Regulačná organizácia EFSA (Európsky úrad pre bezpečnosť potravín) zatiaľ odobrila iba dve zdravotné tvrdenia pre beta-glukán z ovsu a jačmeňa. Prvé je: „Beta-glukány prispievajú k udržaniu normálnej hladiny cholesterolu v krvi,“ s podmienkou prítomnosti minimálne 1 g ovseného alebo jačmenného beta-glukánu na kvantifikovanú porciu. Spotrebiteľ musí zároveň byť informovaný, že priaznivý účinok sa dosiahne pri dennom príjme 3 g. Druhé tvrdenie znie: „Konzumácia beta-glukánov z ovsu alebo jačmeňa ako súčasti jedla prispieva k zníženiu nárastu glukózy v krvi po tomto jedle,“ pri dávke najmenej 4 g beta-glukánov na 30 g využiteľných sacharidov v porcii. Tieto tvrdenia sú teda viazané na špecifické množstvá a zdroje.

Pre iné typy beta-glukánov existujú čiastkové dôkazy o zdravotných benefitoch, zatiaľ však nie v takej miere, aby spĺňali striktné štandardy EFSA pre deklarovanie na obaloch výrobkov. Na Slovensku je napríklad relatívne obľúbený a známy beta-glukán z hlivy ustricovej (*Pleurotus ostreatus*). Pre konkrétny poľský preparát hlivového beta-glukánu (Pleuran od Bonimed, v predaji ako Imunoglukan P4H) prebehlo od roku 2010 viacero klinických pokusov pod vedením slovenských lekárov (napr. MUDr. Jesenák, MUDr. Bobovčák) a s čiastočným zapojením zahraničných účastníkov. Ukázali sa sľubné výsledky v súvislosti s imunomoduláciou, napríklad znižovanie chorobnosti, najmä u detí a športovcov. Aj v prípade iných makroskopických húb a kvasiniek sú k dispozícii čiastočné dôkazy z klinických pokusov, kým pre riasy a baktérie ide zatiaľ o štúdie in vitro a na zvieratách.

**Tab. 2.** Komerčné enzymatické kity Megazyme na detekciu beta-glukánu.

Kit	Beta-glukán (Zmiešaná väzba)	Beta-glukán (Kvasinky a huby)
Kód	K-BGLU	K-YBGL
Princíp	Postupné štiepenie enzýmami lichenáza a beta-glukozidáza. Farebná reakcia vzniknutej glukózy	A) Štiepenie alfa aj beta glykozidových väzieb pomocou H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> . Farebná reakcia vzniknutej glukózy. B) Štiepenie alfa glykozidových väzieb (škrob, maltodextríny, sacharóza a trehalóza) pomocou zmesi amyloglukozidázy, invertázy a trehalázy. Farebná reakcia vzniknutej glukózy. C) Prepočet A mínus B
Cieľové väzby v substráte	beta(1-3) a beta(1-4) glykozidové väzby	celkové glykozidové mínus alfa glykozidové = beta glykozidové väzby
Potvrdený substrát	beta-glukán z ovsu a jačmeňa	beta-glukán kvasiniek a húb (deteguje aj riasový a cereálny beta-glukán)
Zamýšľané matrice	ovsená a jačmenná múka alebo vláknina, varené, pečené, pražené alebo extrudované obilninové výrobky, mliečne koktejly, jogurty a iné kvapalné vzorky, pivo, slad, sladové mláto, sladina	beta-glukánové preparáty z kvasiniek a húb, želé cukríky*
Optimalizovaný postup pre jogurt	Áno	Nie (interferencia laktózy; iné možné interferenty: celulóza, galaktooligosacharidy, maltitol... atď.)

\*V prípade možnej prítomnosti maltitolu v želé cukríkoch sa používa upravená procedúra.

Hoci sa pridávanie beta-glukánových preparátov do jogurtov intenzívne skúma, výrobky sú zatiaľ ojedinelé a prevažne na úrovni laboratórnych prototypov. Podľa našich vedomostí žiadny veľký obchodný reťazec takto obohatené jogurty momentálne neponúka. Samozrejme, sú v ponuke jogurty s ovsenými vločkami, jačmennou vlákninou a podobne, ktoré sú nepriamo obohatené o beta-glukán. V predaji sú aj prečistené beta-glukánové preparáty, u ktorých je pridávanie do jogurtu uvedené ako možnosť použitia. V slovenských podmienkach možno za regionálny prototyp považovať Biely jogurt s beta-glukánom Zelený Klátov, ktorý už bol k dispozícii v dvoch predajniach v Dunajskej Strede a obsahuje približne 150 mg beta-glukánu z hlivy ustricovej na 150 g jogurtu.

Na detekciu beta-glukánov sa v literatúre uvádzajú viaceré analytické prístupy (chromatografické, spektroskopické a pod.). V tomto texte sa však sústredíme na komerčné enzymatické kity Megazyme, ktoré patria medzi najčastejšie spomínané a využívané riešenia v odborných článkoch. Aktuálne verzie (k aprílu 2026) dvoch beta-glukánových analytických súprav (kitov) a ich vlastnosti sú uvedené v Tab. 2.

Súprava K-BGLU kit (Beta-glukán, zmiešaná väzba) sa odporúča na stanovenie predovšetkým obilného beta-glukánu z ovsu a jačmeňa. V princípe by mohla byť schopná stanoviť akýkoľvek beta-glukán s kombináciou beta(1-3) a beta(1-4) glykozidových väzieb, nie však napríklad hubový beta-glukán, ktorý obsahuje aj väzby beta(1-6). Protokol obsahuje optimalizovaný postup pre jogurt.

Súprava K-YBGL kit (Beta-glukán, kvasinky a huby) je primárne určená na preparáty z kvasiniek a húb, výrobcovia však potvrdili aj funkčnosť pre beta-glukán z rias. Tento kit je menej špecificky zameraný ako K-BGLU, nevie napríklad odlíšiť cereálny a hubový beta-glukán. Taktiež hrozí interferencia s viacerými látkami používanými v potravinárstve, vrátane jogurtov (Tab. 2). Postup pre jogurt nebol testovaný ani optimalizovaný, bude vyžadovať prinajmenšom úpravu s ohľadom na prítomnosť laktózy a možno sa ukáže ako celkovo nevhodný pre túto matricu. Je však možné stanovenie koncentrácie beta-glukánu v preparátoch pred pridaním do jogurtu.

Keďže na našom pracovisku máme skúsenosti s prípravou beta-glukánových preparátov, plánujeme aj ich analytické stanovenie. Úspešne sme otestovali kit K-BGLU na obmedzenom množstve práškových preparátov a vzoriek jogurtu s obsahom cereálneho beta-glukánu. V súčasnosti plánujeme použiť kit K-YBGL určený na hubové beta-glukány v koncentrovaných preparátoch. Skúmame možnosť úpravy postupu aj pre jogurtové vzorky.

### Podakovanie

Táto publikácia vznikla v rámci projektu PVV 11 „Prenos poznatkov a inovácií v rámci podpory slovenskej produkcie potravín a potravinárskych výrobkov s vyššou pridanou hodnotou“, podporovaného Ministerstvom pôdohospodárstva a rozvoja vidieka SR, kontrakt medzi MPRV SR a NPPC č.1299/2025/MPRVSR-930.

## **REPowerEU V SLOVENSKEJ PRAXI**

### **Cestovná mapa obehového hospodárstva**

### **ako implementačný rámec rozvoja biometánu v SR**

**Martin Polovka – Pavol Bezák**

Projekt „Rozvoj a podpora výroby udržateľného biometánu, organických hnojív a obehového biohospodárstva“, realizovaný Národným poľnohospodárskym a potravinárskym centrom (NPPC) a Ústredným kontrolným a skúšobným ústavom poľnohospodárskym (ÚKSÚP) v rámci komponentu REPowerEU Plánu obnovy a odolnosti Slovenskej republiky v r. 2024–2025, vytvára ucelený analyticko-implentačný rámec rozvoja biometánu a súvisiacich obehových tokov biomasy na Slovensku. Jeho kľúčovým výstupom je dokument Cestovná mapa obehového hospodárstva v oblasti využitia biomasy a bioplynu, ktorý na základe dátových analýz, modelových výpočtov a overenia v praxi definuje realistickú trajektóriu rozvoja sektora do roku 2030. Príspevok poskytuje základný obsah kľúčového dokumentu projektu – Cestovnej mapy obehového hospodárstva v oblasti využitia biomasy a bioplynu, so závermi a odporúčaniami pre rozhodovaciu sféru, energetickú politiku, poľnohospodárstvo a odpadové hospodárstvo.

#### **Projekt NPPC v kontexte REPowerEU: prechod od stratégie k implementácii**

Iniciatíva REPowerEU postavila členské štáty pred potrebu rýchlej náhrady dovozu fosílného zemného plynu domácimi, obnoviteľnými zdrojmi energie. V tomto kontexte zohráva biometán osobitnú úlohu, keďže ide o jediný obnoviteľný zdroj plynu plne kompatibilný s existujúcou plynárenskou infraštruktúrou.

V rámci projektu „Rozvoj a podpora výroby udržateľného biometánu, organických hnojív a obehového biohospodárstva“ bol vytvorený súbor analytických a aplikačných výstupov, ktoré sú verejne dostupné na stránke projektu (<https://nppc.sk/repower>) a slúžia ako praktický nástroj pre plánovanie, rozhodovanie a implementáciu opatrení v oblasti bioplynu, biometánu a obehového biohospodárstva.

Katalógy a mapy, ktoré vznikli ako výstupy projektu:

#### **1. Komplexná mapa produkčného potenciálu pre výrobu bioplynu a bio-metánu**

Interaktívna webová aplikácia umožňujúca vizualizáciu produkčného potenciálu biomasy a bioodpadov, ako aj ich vzťah k existujúcim spracovateľským kapacitám. Slúži ako podklad pre územné plánovanie, identifikáciu vhodných lokalít a podporu investičného rozhodovania v sektore bioplynu a biometánu.

#### **2. Katalóg technológií pre bioplynové a biometánové stanice**

Katalóg zameraný na najlepšie dostupné technológie pre bioplynové (BPS) a biometánové stanice (BMS), pokrývajúci celý technologický reťazec od príjmu a predúpravy

**Martin Polovka**, Odbor potravinárstva, Sekcia vedy, výskumu a inovácií, Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum, Bratislava.

**Pavol Bezák**, Odbor pôdoznalectva a ochrany pôdy, Sekcia vedy, výskumu a inovácií, Národné poľnohospodárske a potravinárske centrum, Bratislava.

*Korešpondencia:*

Ing. Martin Polovka, PhD., Odbor potravinárstva NPPC, Priemyselná 4, 82108 Bratislava.

E-mail: [martin.polovka@nppc.sk](mailto:martin.polovka@nppc.sk)

surovín, anaeróbnej digescie, separácie digestátu až po upgrading bioplynu na biometán. Dokument slúži ako orientačný technicko-informačný prehľad pre projektantov, investorov a prevádzkovateľov BPS/BMS.

### 3. Katalóg organických hnojív

Katalóg technológií a technologických postupov spracovania bioodpadu a zeleného odpadu na organické hnojivá, kompost, tvorbu substrátov a zmesí pre zlepšenie štruktúry pôdy. Zameriava sa na praktické možnosti materiálového zhodnocovania biologicky rozložiteľných vstupov v súlade s princípmi obehového hospodárstva.

### 4. Katalóg opatrení a riešení pre pôdu

Dokument sumarizuje opatrenia, technologické riešenia a príklady z praxe zamerané na zlepšenie pôdnej biológie, návrat živín do pôdy a podporu rozvoja uhlíkového poľnohospodárstva. Predstavuje prechod medzi výrobou biometánu, využitím digestátu a dlhodobou ochranou pôdných zdrojov.

### 5. Cestovná mapa obehového hospodárstva v oblasti využitia biomasy a bioplynu

Dokument vznikol s cieľom poskytnúť komplexný analytický a implementačný podklad pre rozvoj biometánu v podmienkach Slovenskej republiky. Nejde o koncepčný dokument deklaratívneho charakteru, ale o nástroj určený na praktické rozhodovanie – pre rezorty, regulačné orgány, samosprávy aj investorov.

Z metodického hľadiska dokument:

- inventarizoval existujúce BPS a BMS,
- kvantifikoval dostupnosť vstupných surovín (biologicky rozložiteľný odpad (BRO) a biologicky rozložiteľný komunálny odpad (BRKO), poľnohospodárske zvyšky, exkrementy),
- vyhodnotil technický, ekonomický a regionálny potenciál výroby biometánu,
- identifikoval legislatívne, finančné a inštitucionálne bariéry,
- navrhol implementačnú trajektóriu do roku 2030 v súlade s cieľmi REPowerEU a Integrovaného národného plánu energetického a klimatického plánu (NECP).

V rámci projektu „Rozvoj a podpora výroby udržateľného biometánu, organických hnojív a obehového biohospodárstva“

- sa zároveň realizovali overovacie poľné pokusy zamerané na využitie organických hnojív a digestátu,
- vďaka obstaraniu viacerých špičkových analytických prístrojov došlo k posilneniu odborných a výskumných kapacít a kompetencií zapojených pracovísk.

V ďalšom texte stručne predstavujeme obsah kľúčového výstupu projektu – Cestovnej mapy obehového hospodárstva v oblasti využitia biomasy a bioplynu.

### Národný cieľ produkcie biometánu a jeho ukotvenie v strategických dokumentoch

Cestovná mapa vychádza z cieľov definovaných na úrovni EÚ a SR. Ambíciou Európskej únie je výroba 35 mld. m<sup>3</sup> biometánu ročne do roku 2030. Pre Slovenskú republiku bol v NECP stanovený cieľ výroby 285 mil. Nm<sup>3</sup> biometánu ročne, čo zodpovedá približne 3000 GWh energie.

Tento cieľ predstavuje 5–7 % súčasnej spotreby zemného plynu v SR. Cestovná mapa ho hodnotí ako realistický, avšak podmienený súbežnou implementáciou viacerých legislatívnych, finančných a inštitucionálnych opatrení.

Dôležitým východiskom, s ktorým cestovná mapa pracuje, je rozlíšenie medzi:

- technickým potenciálom SR, ktorý dosahuje 10156 GWh ročne (≈ 962 mil. Nm<sup>3</sup>) a predstavuje horný teoretický limit,
- a realistickým cieľom do roku 2030, ktorý zohľadňuje ekonomiku, infraštruktúru, legislatívu a spoločenské obmedzenia.

### Repowering existujúcich BPS ako kľúčový nástroj transformácie

Najvýznamnejším identifikovaným nástrojom rýchleho rozvoja biometánu je repowering existujúcich bioplynových staníc, teda ich postupná technologická transformácia z výroby elektriny (a tepla) na výrobu biometánu.

Slovensko disponuje 109 bioplynovými stanicami, z ktorých je približne:

- 88 v prevádzke,
- 22 mimo prevádzky,
- len 2 biometánové stanice sú v súčasnosti v stabilnej prevádzke.

Analýzy Cestovnej mapy ukazujú, že cca 60 % staníc má vhodné technické a lokálne predpoklady, aby repowering prebehol do roku 2030.

Krátkodobý potenciál repoweringu existujúcich BPS je vyčíslený na 1337 GWh ročne, čo zodpovedá 126,8 mil. Nm<sup>3</sup> biometánu. Tento objem predstavuje viac než tretinu cieľa pre rok 2030 a tvorí základ realistického scenára rozvoja.

Z ekonomického hľadiska je repowering výhodnejší než výstavba nových, tzv. "green-field" projektov, keďže znižuje potrebné kapitálové náklady a zároveň využíva existujúcu infraštruktúru (digestory, prípojky, logistiku).

### Biologicky rozložiteľný odpad ako systémový doplnok výroby biometánu

Cestovná mapa jednoznačne identifikuje biologicky rozložiteľný komunálny odpad (BRO/BRKO) ako jeden z kľúčových, doteraz nedostatočne využívaných zdrojov biomasy pre výrobu biometánu.

BRO tvorí významnú časť komunálneho odpadu, avšak jeho energetické využitie je obmedzené:

- dostupná tonáž BRO pre anaeróbnu digestiu sa odhaduje na 80000 – 170000 ton ročne,
- energetický potenciál predstavuje 20 – 42 mil. Nm<sup>3</sup> biometánu ročne.

Spracovanie BRO v BPS/BMS prináša dvojitý efekt:

- znižuje množstvo odpadu ukladaného na skládky,
- zabezpečuje stabilný zdroj vstupných surovín pre výrobu biometánu.

Dokument odporúča prechod od preferencie kompostovania k energeticko-materiálovému zhodnocovaniu BRO, najmä prostredníctvom regionálnych centier spracovania.

### Digestát ako plnohodnotný produkt obehového biohospodárstva

Zásadným posunom oproti predchádzajúcim koncepciám je systematické zaradenie digestátu medzi strategické výstupy systému, nie vedľajšie odpady.

Cestovná mapa jednoznačne definuje:

- digestát ako produkt (CMC 4 / CMC 5 podľa nariadenia EÚ 2019/1009),
- nie ako odpad.

Digestát:

- je bohatý na dusík, fosfor, draslík,
- obsahuje organický uhlík v podobe stabilných organických zlúčenín, odolných voči rozkladu (lignín, celulóza, a pod.),
- prispieva k obnoveniu pôdnej štruktúry a tvorbe humusu,
- predstavuje významný nástroj návratu živín do pôdy v rámci obehového hospodárstva.

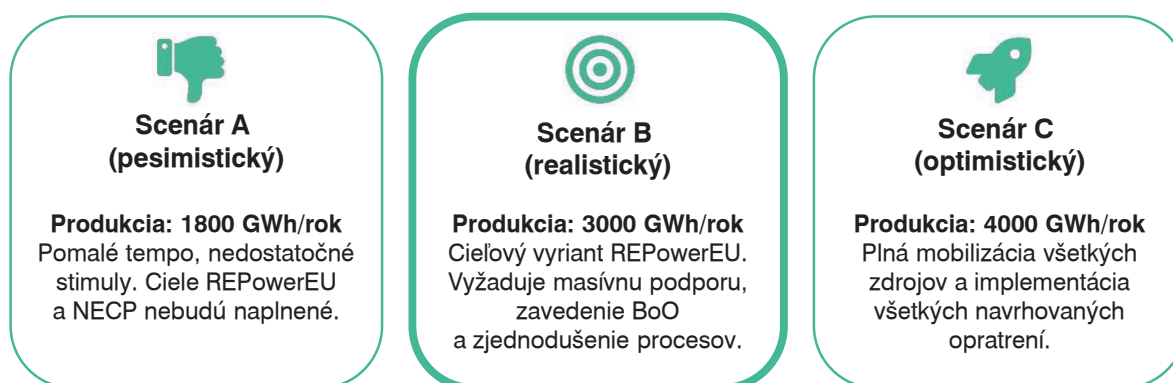
Výsledky overovania v rámci projektu REPower ukazujú, že pri správnej aplikácii môže aplikácia digestátu prispieť k zníženiu potreby minerálnych dusíkatých hnojív. Tým sa biome-

tánový sektor dostáva do priameho prepojenia s poľnohospodárstvom, uhlíkovým hospodárením a potravinovou bezpečnosťou.

### Scenár B – realistická trajektória rozvoja do roku 2030

Cestovná mapa pracuje s tromi scenármi rozvoja. Za cieľový je považovaný scenár B (realistický), ktorý predpokladá:

- repowering približne 60 % existujúcich BPS ( $\approx 126,7$  mil.  $\text{Nm}^3$ ),
- výstavbu 14–28 nových BMS podľa kapacity (5–10 mil.  $\text{Nm}^3/\text{rok}$ ),
- celkovú produkciu 3000 GWh biometánu do roku 2030.



Obr. 1. Scenáre rozvoja produkcie biometánu v SR do r. 2030.

Scenár B je dosiahnuteľný len za predpokladu:

- zavedenia stabilnej prevádzkovej podpory (PoS / Feed-in Premium),
- funkčného systému záruk pôvodu (GoO),
- zjednodušenia povoľovacích procesov (EIA, IPKZ),
- efektívnej koordinácie rezortov.

### Implementačná a investičná trajektória

Celková investičná potreba sektora do roku 2030 je odhadovaná na 550–620 mil. EUR.

Financovanie má byť kombináciou:

- Plánu obnovy a odolnosti (REPowerEU),
- Modernizačného fondu,
- eurofondov a SPP,
- súkromného kapitálu.

Cestovná mapa navrhuje implementačný harmonogram:

- 2025: pilotné repowering projekty, register GoO,
- 2026: transpozícia RED III, zavedenie PoS,
- 2027–2028: masívny repowering, nové BMS,
- 2030: dosiahnutie cieľa 3 000 GWh.

### Záver

Projekt NPPC a jeho výstupy, vrátane Cestovnej mapy obehového hospodárstva, predstavujú ucelený dátovo podložený rámec rozvoja biometánu na Slovensku. Ich sila

spočíva v prepojení energetickej politiky, odpadového hospodárstva a poľnohospodárstva do jedného obehového modelu.

Biometán je v tomto rámci chápaný nie ako izolovaný zdroj energie, ale ako súčasť systému, ktorý:

- zvyšuje energetickú bezpečnosť,
- znižuje emisie,
- obnovuje pôdu,
- stabilizuje regióny.

Dosiahnutie cieľa 3000 GWh do roku 2030 je realistické, no bude závisieť od dôslednej implementácie opatrení, ktoré Cestovná mapa identifikuje.

V cestovnej mape sú navyše, podľa vysoko pozitívnej odozvy zapojených stakeholderov, prvýkrát sumarizované doteraz roztrieštené údaje o vstupoch a kapacitách, ako aj predstavené možné trajektórie vývoja v oblasti vyššieho využitia biometánu.

### Podakovanie

Príspevok vznikol vďaka realizácii aktivít projektu, realizovaného v rámci Komponentu 9 REPower EU – Projekt 19R01-18-P01-00001 „Rozvoj a podpora výroby udržateľného biometánu, organických hnojív a obehového hospodárstva“.



## „Rozvoj a podpora výroby udržateľného biometánu, organických hnojív a obehového biohospodárstva“

Komponent 19 REPowerEU  
Projekt 19R01-18-P01-00001



PLÁN [OBNOVY]



Poznámka k niektorým skratkám:

PoS – systém podpory výroby elektriny alebo plynu, pri ktorom má výrobca nárok na prémie (doplatok) k trhovej cene namiesto pevnej výkupnej ceny.

Feed-in Premium (FiP) – forma prevádzkovej podpory, kde výrobca predáva energiu na trhu a zároveň dostáva prémie nad trhovú cenu.

GoO (Guarantee of Origin – záruka pôvodu) – elektronický certifikát potvrdzujúci pôvod energie z obnoviteľných zdrojov.

EIA (Environmental Impact Assessment – posudzovanie vplyvov na životné prostredie) – proces hodnotenia vplyvov navrhovanej činnosti alebo stavby na životné prostredie.

IPKZ (Integrovaná prevencia a kontrola znečisťovania) – povolovací proces pre zariadenia s významným vplyvom na životné prostredie, založený na požiadavkách Smernice o priemyselných emisiách (IED).

## PLÁN SEMINÁROV ODBORU POTRAVINÁRSTVA NPPC 2026

Semináre sa konajú ONLINE prostredníctvom aplikácie TEAMS,  
zvyčajne posledný piatok v príslušnom mesiaci o 9:00 hod.  
Z dôvodu možných zmien prosíme záujemcov, aby si termín konania seminárov  
overili v aktualitách na stránke [www.vup.sk](http://www.vup.sk).

### FEBRUÁR – 27.2.2026

- **Mapa produkčného potenciálu pre výrobu bioplynu a bio-metánu v SR**  
Ing. Pavol Bezák
- **Akrylamid v extrudovaných výrobkoch: znižovanie, kvalita a rýchla identifikácia**  
Ing. Zuzana Ciesarová, CSc. – Ing. Kristína Kukurová, PhD. – Ing. Sylvia Bucsaiová

### MAREC – 27.3.2026

- **Aktuálne výzvy v oblasti potravinárskej mikrobiológie**  
Ing. Eva Kacčíková, CSc.
- **Sledovanie kvasinkovej mikroflóry hrozna pomocou FT-IR spektroskopie**  
Ing. Katarína Ženišová, PhD.

### APRÍL – 24.4.2026

- **Výsledky inovačných voucherov zameraných na získavanie a charakterizáciu špeciálnych olejov**  
Ing. Marek Kunštek a kol.
- **Senzory pro potravinářský průmysl: výzvy a příležitosti**  
Ing. Blanka Tobolková, PhD.

### MÁJ – 29.5.2026

- **20 rokov oficiálnej rozvojovej pomoci v oblasti potravinových databáz**  
Ing. Janka Porubská, PhD.
- **Účinok bakteriofágového preparátu narast kmeňov *Listeria monocytogenes***  
Mgr. Adriana Véghová, PhD. – Ing. Eva Kacčíková, CSc.
- **Acrylamide in cereals: the interplay between cereal composition and food matrix**  
Marina Roldán Muñoz – Marta Mesías García – Francisco J. Morales Navas

### JÚN – 26.6.2026

- **Nové trendy v potravinárstve**  
Kolektív Odboru potravinárstva NPPC

### SEPTEMBER – 25.9.2026

- **Identifikácia a eliminácia *Listeria monocytogenes* v remeselných výrobníach syrov**  
Ing. Janka Koreňová, PhD.
- **Problematika potravinového odpadu v sektore prvovýroby**  
Ing. Božena Skláršová, PhD.

### OKTÓBER – 23.10.2026

- **Využitie pulzného elektrického poľa pri spracovaní potravín**  
Ing. Marcela Blažková, PhD. a kol.
- **Enzymatické stanovenie beta-glukánu vo vzorkách**  
Ing. Barbara Brežná, PhD.

### NOVEMBER – 27.11.2026

- **Aróma-aktívne zlúčeniny gruzínskeho čierneho čaju identifikované prostredníctvom plynovo-chromatografických metód**  
Ing. Mária Kopuncová, PhD.
- **Čo sa skrýva v pohári vína? Biogénne amíny a ich pôvod, výskyt a zdravotné aspekty**  
RNDr. Jana Kubincová, PhD.

### DECEMBER – 11.12.2026

- **Nové trendy v potravinárstve**  
Kolektív Odboru potravinárstva NPPC



Elementárny analyzátor prvkov CHNS vario MACRO cube na stanovenie obsahu uhlíka, vodíka, dusíka a síry pomocou vysokoteplotného spaľovania vzorky v prúde kyslíka (nosný plyn – argón)



PlasmaQuant 9100 ICP-OES prístroj pre indukčne viazanú plazmovú emisnú spektrometriu

ISSN 1336-085X



9 771336 085009