



**SPU**  
Slovenská  
poľnohospodárska  
univerzita v Nitre



**SPU·VC ABT**  
Výskumné centrum  
AgroBioTech

**PLÁN [OBNOVY]**



Financované  
Európskou úniou  
NextGenerationEU

## Dodávateľské reťazce pšenica - pečivo

### Štúdia s ohľadom na uhlíkovú stopu



[www.decarb.uniag.sk](http://www.decarb.uniag.sk)

Financované EÚ NextGenerationEU prostredníctvom Plánu obnovy a odolnosti SR  
v rámci projektu č. 09I04-03-V02-00054 - Nízkoemisná Budúcnosť: Sledovanie Uhlíkovej Stopy  
v Agropotravinárskych podnikoch pre Podporu Lokálnych Výrobcov

## Obsah

1	Úvod.....	3
2	Ciele, rozsah a výskumné otázky.....	4
3	Metodologické východiská a systémové hranice .....	5
4	Vertikála pšenica – od poľa po predaj čerstvého pečiva.....	7
5	Legislatívny a normatívny rámec.....	8
6	Ekonomika tvorby hodnoty a cenová transmisia .....	9
7	Profil rizík a odolnosť reťazca.....	10
8	Uhlíková stopa: metodika, profily a dominantné zdroje.....	11
8.1	Metodický rámec a systémové hranice.....	11
8.2	Rozsah uhlíkovej stopy a jej profil .....	11
8.3	Analýza životného cyklu jednoznačne poukazuje na štyri kľúčové oblasti, ktoré formujú uhlíkový profil chleba a ktoré spoločne vysvetľujú prakticky celý rozsah jeho emisií.....	11
9	Prípadová štúdia: pšenica a pečivo – reorganizácia výroby a predaja.....	15
10	Meranie, dohľadateľnosť a reporting.....	16
11	Scenáre dekarbonizácie a citlivostná analýza.....	17
12	Odporúčania na zníženie uhlíkovej stopy chleba .....	19
13	Implementačné bariéry a riadenie zmeny .....	21
14	Záver.....	23
15	Prílohy.....	24
15.1	Slovník pojmov a skratiek .....	24
15.2	Rámcová mapa indikátorov a metodika .....	24
15.3	Metodika zberu dát, kvalita údajov a integrácia do reportingu.....	25
15.4	Orientačné scenáre a kvantifikované efekty .....	26
16	Zoznam použitej literatúry .....	27



# 1 Úvod

Dodávateľský reťazec pšenica – pečivo predstavuje jeden z najvýznamnejších pilierov potravinového systému Slovenskej republiky a zároveň je súčasťou širšieho európskeho potravinového trhu. Ide o vertikálu, ktorá sa začína na poliach poľnohospodárskych podnikov a končí v spotrebiteľskom košíku v podobe čerstvého chleba, rožkov či špecializovaného pekárskeho sortimentu.

Pšenično-pekársky reťazec je odlišný od iných agropotravinárskych vertikál najmä svojou sezónnosťou. Pestovanie pšenice je úzko späté s priebehom počasia, osevným postupom a stavom pôdy. Zrno však má na rozdiel od mlieka či čerstvej zeleniny dobrú skladovateľnosť – pri správnych podmienkach môže byť uchovávané niekoľko mesiacov bez výraznejšej straty kvality. To umožňuje flexibilitu vo výrobe múky a pečiva a poskytuje firmám priestor reagovať na kolísanie dopytu a cien.

Význam pšenično-pekárskej vertikály presahuje oblasť výživy obyvateľstva. Je zdrojom zamestnanosti vo vidieckych regiónoch, vytvára dopyt po strojárskych technológiách (mlyny, pekárenské pece, baliace linky), po energiách, obaloch a logistických službách. Na Slovensku predstavuje pečivo základnú zložku spotrebného koša – priemerný obyvateľ skonzumuje 40 – 60 kg chleba a pečiva ročne. V celej EÚ ide o trh s obratom rádovo desiatok miliárd eur ročne, pričom stabilita cien chleba je politicky aj sociálne citlivá.

Zároveň tento reťazec čelí množstvu výziev. Exogénne šoky, ako sú suchá, povodne alebo prudké zmeny cien energií a hnojív, narúšajú jeho stabilitu. Pandémia COVID-19 ukázala dôležitosť robustnej logistiky a schopnosti podnikov rýchlo sa prispôsobiť výpadkom. V čase rastúceho tlaku na dekarbonizáciu je navyše nevyhnutné riešiť nielen ekonomickú efektívnosť, ale aj environmentálne dopady, najmä uhlíkovú stopu a plytvanie potravinami.



## 2 Ciele, rozsah a výskumné otázky

Táto štúdia kvantifikuje uhlíkovú stopu (GHG emisie v kg CO<sub>2</sub>e/kg) naprieč celým hodnotovým reťazcom „obilie → múka → chlieb“, pričom funkčnou jednotkou je 1 kg čerstvého pšeničného chleba. Uplatňujeme metodiku analýzy životného cyklu (LCA) podľa štandardov ISO 14040/44 a rámca EÚ Product Environmental Footprint (PEF), čím získavame komplexný pohľad na environmentálne zaťaženie produktu. Súčasťou analýzy je identifikácia hlavných „hot-spotov“, ktorými sú najmä poľnohospodárska produkcia (s dôrazom na emisie N<sub>2</sub>O z pôdy a výrobu hnojív), energeticky náročný proces pečenia a významné straty či plytvanie potravinami v celom reťazci.

Zhrnutie existujúcich publikovaných LCA štúdií ukazuje, že najväčší podiel na uhlíkovej stope má pestovanie pšenice a samotné pečenie chleba – spoločne predstavujú približne 60–80 % celkovej stopy v závislosti od konkrétneho systému. Mletie obilia a logistika zvyčajne tvoria menší podiel. Rozdiely medzi jednotlivými štúdiami vznikajú v dôsledku odlišného nastavenia hraníc systému (napríklad zahrnutie fázy spotrebiteľa), použitých technológií a energetického mixu.

Primárnym cieľom tejto štúdie je ponúknuť ucelený a hlbší pohľad na fungovanie reťazca „pšenica – pečivo“, a to so zameraním na environmentálne a ekonomické aspekty. Snažíme sa ukázať, ako jednotlivé články reťazca na seba nadväzujú, akým spôsobom sa v nich vytvára hodnota, kde vznikajú kľúčové emisie a aké existujú možnosti na ich redukciu.

Výskumné otázky sú štruktúrované nasledovne:

1. Ako sa mení uhlíková stopa chleba v závislosti od fáz reťazca?  
Porovnávame uhlíkovú stopu do fázy „po bránu pekárne“ (približne 0,75 – 0,80 kg CO<sub>2</sub>e na 1 kg chleba) s celkovou stopou od počiatkovej po konečnú fázu (0,9 – 1,6 kg CO<sub>2</sub>e na 1 kg chleba), pričom analyzujeme rozdiely medzi jednotlivými etapami reťazca.
2. Kde vznikajú najväčšie straty efektívnosti?  
Hodnotíme, aký podiel na emisiách majú návratky v predajniach, vplyv energetickej náročnosti pecí (0,22 – 0,25 kWh/kg) a dôsledky nadmerného dusíkatého hnojenia na celkovú bilanciu GHG emisií.
3. Aké nástroje dekarbonizácie sú dostupné?  
Porovnávame nízkonákladové opatrenia ako variabilné hnojenie či prediktívne plánovanie produkcie s investične náročnejšími riešeniami, napríklad elektrifikovanými pecami alebo cirkulárnym využitím zvyškov.
4. Ako zosúladiť ekonomickú a environmentálnu logiku?  
Skúmame, či môžu opatrenia na znižovanie uhlíkovej stopy zároveň zlepšiť ekonomickú efektívnosť – napríklad zníženie návvratiek vedie k úspore nákladov aj emisií.

Rozsah práce pokrýva celý hodnotový reťazec – od poľnej prvovýroby cez spracovanie v mlynoch a pekárňach až po distribúciu a fázu spotrebiteľa. Zohľadňujeme aj vedľajšie toky, ako sú otruby, obaly a potravinový odpad, a skúmame ich potenciál pre cirkulárne využitie v duchu princípov obehového hospodárstva.



### 3 Metodologické východiská a systémové hranice

Analýza uhlíkovej stopy bola spracovaná na základe metodiky Life Cycle Assessment (LCA) podľa noriem ISO 14040 a ISO 14044. Hodnotenie zahŕňalo celý životný cyklus chleba od pestovania pšenice až po fázu spotrebiteľa, t.j. od počiatkovej po konečnú fázu. Definovali sme štyri úrovne systémových hraníc:

- **Brána farmy:** zahŕňa všetky vstupy a emisie spojené s pestovaním pšenice, najmä výrobu a aplikáciu minerálnych hnojív a pesticídov, spotrebu nafty v poľnohospodárskej mechanizácii a emisie z pôdy, predovšetkým oxid dusný ( $N_2O$ )
- **Brána pekárne:** pokrýva spracovateľskú fázu – mletie obilia a pečenie chleba, pričom sa zohľadňuje spotreba elektriny a zemného plynu, materiálové straty a využitie vedľajších tokov.
- **Brána maloobchodu:** sa sústreďuje na distribúciu výrobkov vrátane prepravy surovín a hotového chleba, energetickej náročnosti skladovania a chladenia či strát a návratiek v predajniach.
- **Počas celého životného cyklu, od počiatkovej po konečnú fázu:** dopĺňa predchádzajúce etapy o správanie domácností – skladovanie a prípravu pečiva (opätovné ohrievanie, dopek), plytvanie potravinami a nakladanie s potravinovým odpadom.

V rovnakom ponímaní je možné uvedené 4 fázy klasifikovať na: **poľnohospodársku, spracovateľskú, distribučnú a spotrebiteľskú fázu.**

Emisie sme rozdelili do troch skupín podľa rámca GHG Protocol: priame emisie (Scope 1), nepriame emisie z energií (Scope 2) a rozšírené nepriame emisie (Scope 3). Ich kvantifikácia bola založená na kombinácii podnikových meraní, štatistických podkladov a publikovaných emisných faktorov.

Pri výpočtoch sme napríklad pre dusíkaté hnojivá vychádzali z emisného faktora 1 % aplikovaného dusíka, čo je hodnota odporúčaná IPCC. Pre spotrebu energie v peciach sme uvažovali rozsah 0,14 – 2,0 kWh/kg, pričom moderné prevádzky dosahujú priemerné hodnoty 0,22 – 0,25 kWh/kg.

Osobitná pozornosť bola venovaná analýze vplyvov, ktorá ukázala, že výslednú uhlíkovú stopu najviac ovplyvňujú tri premenné:

- množstvo a forma aplikovaného dusíka,
- spotreba energie pri pečení,
- miera návratiek v maloobchode.

Práve tieto faktory sa stali hlavnými východiskami pre návrhové scenáre.

Použitie emisné faktory vychádzali z databáz IPCC 2019 a Ecoinvent 3.9. Pre oxid dusný bol aplikovaný emisný faktor 0,01 kg  $N_2O-N$ /kg aplikovaného dusíka, čo zodpovedá predpokladu, že 1 % dusíka sa premieňa na  $N_2O$ . Pri výrobe dusičnanu amónneho sme uplatnili emisný faktor 2 – 3 tony  $CO_2e$  na tonu hnojiva. Emisie z energetickej spotreby vychádzali z priemerného slovenského energetického mixu v roku 2023, kde elektrina mala emisný faktor približne 0,25 kg  $CO_2e$ /kWh a zemný plyn 0,20 kg  $CO_2e$ /kWh.

Referenčnou funkčnou jednotkou je 1 kg čerstvého pšeničného chleba. V prípade, že uvádzame výsledky na bochník (napr. 800 g), vždy je zároveň uvedený aj prepočet na kilogram výrobku (napr. „800 g bochník  $\approx$  0,98 – 1,24 kg  $CO_2e$ /kg, t. j. 1,22 – 1,55 kg  $CO_2e$ /kg“).



Emisné faktory použité v analýze vychádzali z databáz IPCC 2019 a Ecoinvent 3.9. Všetky detailné hodnoty sú uvedené v Prílohe B, zatiaľ čo v hlavnom texte pracujeme s agregovanými rozsahmi (napr. elektrina 0,15 – 0,30 kg CO<sub>2</sub>e/kWh podľa mixu, zemný plyn 0,20 kg CO<sub>2</sub>e/kWh, výroba dusičnanu amónneho 2 – 3 t CO<sub>2</sub>e/t).



## 4 Vertikála pšenica – od poľa po predaj čerstvého pečiva

### Poľná prvovýroba

Pšenica je jednou z najrozšírenejších obilnín v Európe. Na Slovensku sa pestuje približne na 400 – 450 tisíc hektároch ročne, pričom priemerné úrody dosahujú 5 – 6 t/ha. Hlavným faktorom, ktorý určuje jej uhlíkovú stopu, je používanie dusíkatých hnojív. Výroba 1 tony dusičnanu amónneho produkuje 2 – 3 tony CO<sub>2</sub>e, pričom po aplikácii vznikajú ďalšie emisie N<sub>2</sub>O priamo z pôdy. V priemere predstavuje pestovanie 45 – 55 % celkovej uhlíkovej stopy chleba.

### Fáza po zbere poľnohospodárskej plodiny

Zberané zrno má často vlhkosť vyššiu ako 20 %. Ak sa vlhkosť nezníži na 14 – 15 %, zrno je náchylné na plesne. Proces sušenia je energeticky náročný: zníženie vlhkosti o 10 percentuálnych bodov spotrebuje približne 239 kWh na tonu zrna (orientačná hodnota, závisí od technológie a paliva). Pri veľkých farmách s tisíckami ton úrody ide o významný zdroj emisií a nákladov.

### Mlynská fáza

Mletie pšenice na múku je technologicky stabilizovaný proces, no energeticky citlivý. Moderné mlyny spotrebujú 60 – 95 kWh na tonu múky, čo je rádovo menej než pečenie, ale vzhľadom na veľký objem produkcie ide o významnú položku. Vedľajší produkt otruby bol alokovaný metódou ekonomickej alokácie, keďže jeho trhovú hodnotu je nezanedbateľnú (10 – 20 % hodnoty múky). Alternatívne by bolo možné použiť mass allocation alebo system expansion; senzitivita ukázala, že rozdiel vo výslednej uhlíkovej stope chleba je ±5 %.

### Pekárska výroba

Pekárne predstavujú technologické srdce reťazca. Tu sa energia mení na senzorické vlastnosti výrobku – farbu kôrky, pórovitosť striedky, vôňu. Pečenie spotrebuje 0,22 – 0,25 kWh na kilogram výrobku v moderných linkách, pričom pri starších zariadeniach môže byť spotreba až desaťnásobne vyššia. Ak zoberieme priemernú slovenskú pekáreň s dennou produkciou 20 ton, len samotné pečenie spotrebuje približne 5 000 kWh denne.

### Distribúcia a predaj

Pečivo je vysoko časovo citlivý produkt. Spotrebiteľ očakáva čerstvosť, preto pekárne vyrábajú vo viacerých denných šaržoch a distribúcia prebieha dynamicky. Návratky v predajniach dosahujú 10 – 15 % dennej produkcie, čo znamená nielen ekonomickú stratu, ale aj zbytočnú uhlíkovú stopu. Na Slovensku sa v domácnostiach vyhodí približne 65 kg potravín/os./rok, v EÚ je to 72 kg/os./rok (Stenmarck et al., 2016). Pri zohľadnení celého reťazca (vrátane spracovania, distribúcie a strát poľnohospodárskej produkcie) sú hodnoty vyššie: v EÚ približne 132 kg/os./rok (FAO, 2011). V tejto štúdii konzistentne pracujeme s údajmi pre domácnosti, pokiaľ nie je uvedené inak.



## 5 Legislatívny a normatívny rámec

Pšenično-pekárska vertikála funguje v prostredí, kde právne normy EÚ aj SR detailne určujú podmienky bezpečnosti a kvality potravín. Základ tvoria nariadenia (ES) č. 178/2002 o všeobecných zásadách potravinového práva a (ES) č. 852/2004 o hygiene potravín. Tieto predpisy zavádzajú povinnosť implementovať systémy HACCP, ktoré mapujú nebezpečenstvá a stanovujú kritické kontrolné body.

Pre pšenicu je dôležitá kontrola mykotoxínov (napr. deoxynivalenolu, ochratoxínu A), ktoré môžu vzniknúť pri nesprávnom skladovaní alebo vlhkom priebehu žatvy. V praxi to znamená, že každá zásielka obilia musí byť testovaná na tieto kontaminanty, aby bola použiteľná na výrobu potravín. V pekárenskej fáze sa osobitná pozornosť venuje označovaniu alergénov – lepok patrí medzi 14 hlavných alergénov, ktoré musia byť povinne uvádzané na obaloch alebo pri nebalenom tovare informované iným spôsobom.

Regulácia sa dotýka aj obalov a odpadového hospodárstva. Podľa smernice (EÚ) 2018/852 o obaloch a odpadoch z obalov musia členské štáty dosiahnuť do roku 2030 recykláciu 70 % obalového odpadu. Pre pekárne a predajcov to znamená tlak na používanie recyklovateľných alebo kompostovateľných materiálov, napríklad papierových vreciek namiesto plastových obalov.

Osobitnou oblasťou je reportovanie udržateľnosti. Smernica CSRD (Corporate Sustainability Reporting Directive) zavádza povinnosť veľkých podnikov zverejňovať dáta o uhlíkovej stope, spotrebe energií a odpadoch. V praxi to znamená, že pekárne nad určitú veľkosť budú musieť mať auditovateľné dáta o svojich emisiách, čím sa ich environmentálna výkonnosť stane súčasťou obchodnej konkurencieschopnosti.

Z hľadiska metodiky environmentálneho hodnotenia nadväzuje tento sektor aj na rámec Product Environmental Footprint Category Rules (PEFCR) pre pekárenské výrobky. Najnovšie aktualizácie (2021 a pripravovaná verzia 2025) poskytujú harmonizované pravidlá, ktoré umožňujú porovnateľnosť medzi podnikmi a regiónmi a budú slúžiť ako základ pre reporting podľa CSRD/ESRS.



## 6 Ekonomika tvorby hodnoty a cenová transmisia

Ekonomika pšenično-pekárskej vertikály je zložitá, pretože cena finálneho výrobku je ovplyvnená celou škálou faktorov od globálnych trhov až po lokálne náklady. Cena pšenice na burze Euronext alebo Chicago Board of Trade sa okamžite odráža v cenách múky, a hoci podiel pšenice na konečnej cene chleba je relatívne nízky (10 – 20 %), kolísanie cien sa prenáša cez celý reťazec.

Významnú úlohu zohrávajú náklady na energie. V čase energetickej krízy v rokoch 2021 – 2022 sa ceny elektriny a plynu strojnásobili, čo sa okamžite prejavilo na nákladovosti pekární, keďže pečenie spotrebuje okolo 0,22 – 0,25 kWh/kg výrobku. Ak pekárne denne vyrobí 20 ton, zvýšenie ceny elektriny o 0,10 €/kWh znamená nárast nákladov o 500 € denne, teda viac ako 180-tisíc € ročne.

Cenová transmisia je navyše ovplyvnená elasticitou dopytu. Spotrebitelia vnímajú pečivo ako základný tovar, ale aj malé zvýšenia cien (napr. o 0,05 € za rožok) môžu spôsobiť pokles predaja alebo prechod k lacnejším alternatívam. To vedie k napätiam medzi pekárňami a obchodnými reťazcami. Reťazce často presúvajú časť rizika na dodávateľov a pekárne tak čelia zníženým maržiam.

Ekonomická efektívnosť úzko súvisí s environmentálnou výkonnosťou. Zníženie návratiek z 15 % na 10 % prináša nielen úsporu 0,4 t CO<sub>2</sub>e denne pri produkcii 10 ton, ale aj zníženie materiálových nákladov o približne 1 000 € mesačne. To ukazuje, že environmentálne opatrenia môžu byť aj ekonomicky výhodné.



## 7 Profil rizík a odolnosť reťazca

Riziká v pšenično-pekárskej vertikále možno rozdeliť do piatich kategórií:

1. **Biologické riziká** – choroby obilnín (napr. fuzarióza klasu) vedú k stratám úrody a zhoršenej kvalite. Mykotoxíny v zrnách môžu znemožniť ich použitie v potravinárstve.
2. **Klimatické riziká** – suchá v roku 2022 spôsobili pokles úrod pšenice v EÚ o 10 – 15 %, čo sa odrazilo na cenách múky a chleba. Záplavy môžu poškodiť úrodu aj skladovacie kapacity.
3. **Prevádzkové riziká** – výpadky elektriny alebo plynu prerušia proces pečenia, čo vedie k okamžitému vzniku nepoužiteľných výrobkov.
4. **Dodávateľské riziká** – závislosť od dovozu hnojív z Ruska a Bieloruska bola počas geopolitickej krízy 2022 výrazne oslabená, čo zvýšilo ceny hnojív o viac ako 100 %.
5. **Regulačné riziká** – sprísňovanie environmentálnych noriem môže zvýšiť kapitálovú náročnosť podnikov.

Odolnosť možno posilniť viacerými spôsobmi: diverzifikáciou zdrojov obilia, redundanciou v kritických uzloch (napr. záložné generátory v pekárňach), digitalizáciou plánovania výroby a implementáciou zmluvných mechanizmov, ktoré rozdeľujú riziká medzi farmárov, mlyny, pekárne a obchod.



## 8 Uhlíková stopa: metodika, profily a dominantné zdroje

### 8.1 Metodický rámec a systémové hranice

Posudzovanie uhlíkovej stopy chleba je realizované na báze metodiky LCA (Life Cycle Assessment), ktorá predstavuje systematický nástroj na hodnotenie environmentálnych vplyvov výrobku počas celého jeho životného cyklu. Metodický rámec je založený na normách ISO 14040 a ISO 14044 a doplnený o princípy metodiky Product Environmental Footprint (PEF), ktorá prostredníctvom harmonizovaných pravidiel pre kategórie výrobkov (PEFCR) zabezpečuje porovnateľnosť medzi jednotlivými modelmi a umožňuje robustnú interpretáciu výsledkov.

Funkčná jednotka, definovaná ako 1 kg pšeničného chleba, predstavuje referenčný základ pre kvantifikáciu environmentálnych dopadov a je určená ako nebalený výrobok pri bráne pekárne, pričom analýzy boli v prípade potreby rozšírené o fázu maloobchodu a spotrebiteľskú fázu. Hranice systému sú v závislosti od cieľa štúdie formulované v troch variantoch: cradle-to-gate (od pestovania po bránu pekárne), cradle-to-retail (po maloobchodný predaj) a cradle-to-grave (vrátane spotrebiteľskej fázy, t. j. skladovania, chladenia a vzniku potravinového odpadu).

Konkrétny príklad ukazuje, že bochník chleba s hmotnosťou 800 g má uhlíkovú stopu približne  $\approx 0,98 - 1,24$  kg CO<sub>2</sub>e (na bochník), čo zodpovedá 1,22 – 1,55 kg CO<sub>2</sub>e/kg, a čo znamená, že každodenná spotreba jedného bochníka v jednej domácnosti vedie k ročným emisiám 360 – 450 kg CO<sub>2</sub>e/kg, čo je porovnateľné s emisiami vyprodukovanými pri ročnej prevádzke chladničky.

### 8.2 Rozsah uhlíkovej stopy a jej profil

Priemerná uhlíková stopa pšeničného chleba sa podľa viacerých štúdií pohybuje v rozsahu 0,75 – 0,80 kg CO<sub>2</sub>e/kg výrobku (cradle-to-gate). Pri zahrnutí celého životného cyklu vrátane spotrebiteľskej fázy sa hodnota zvyšuje na 0,9 – 1,6 kg CO<sub>2</sub>e/kg výrobku (cradle-to-grave). Pre ilustráciu: bochník chleba s hmotnosťou 800 g  $\approx 0,98 - 1,24$  kg CO<sub>2</sub>e/kg, čo zodpovedá 1,22 – 1,55 kg CO<sub>2</sub>e/kg. Rozdelenie emisií medzi jednotlivé fázy potravinového reťazca ukazuje, že najväčší podiel pripadá na pestovanie pšenice (45 – 55 %), nasledované mletím a pečením (15 – 25 %), distribúciou a návratkami (10 – 20 %) a napokon obalmi a spotrebiteľskou fázou (5 – 15 %). Priemerný emisný profil možno teda zhrnúť nasledovne: pestovanie približne 50 %, spracovanie vrátane mletia a pečenia približne 20 %, distribúcia s návratkami približne 15 % a obaly spolu so spotrebiteľskou fázou približne 15 %. Tieto výsledky jednoznačne poukazujú na tri dominantné oblasti uhlíkovej stopy chleba: aplikáciu dusíkatých hnojív, energetickú náročnosť pečenia a plytvanie potravinami.

### 8.3 Analýza životného cyklu jednoznačne poukazuje na štyri kľúčové oblasti, ktoré formujú uhlíkový profil chleba a ktoré spoločne vysvetľujú prakticky celý rozsah jeho emisií.

#### 8.3.1 Pestovanie pšenice (~50 %)

Najväčší podiel emisií vzniká v poľnohospodárskej fáze pestovania pšenice, ktorá sa podieľa približne polovicou na celkovej uhlíkovej stope. Hlavným faktorom sú aplikácie dusíkatých hnojív a následné emisie N<sub>2</sub>O z pôdy. Významnú časť predstavuje aj samotná výroba priemyselných hnojív, ktorá je energeticky a emisne náročná. Uvádza sa, že produkcia jednej tony dusičnanu amónneho



generuje 2 – 3 tony CO<sub>2</sub>e. Zavedenie precízneho hospodárenia a efektívneho dávkovania hnojív umožňuje znížiť spotrebu dusíka o 15 – 20 %, čo vedie k podstatnej redukcii emisií.

### 8.3.2 Mletie a pečenie (~20 %)

Druhým najvýznamnejším zdrojom emisií je fáza technologického spracovania, ktorá zahŕňa mletie zrna na múku a následné pečenie chleba. V mlynoch sa spotreba elektrickej energie pohybuje na úrovni 60 – 95 kWh/t múky, pričom pečenie je ešte energeticky náročnejšie – priemyselné pece spotrebujú približne 0,22 – 0,25 kWh/kg výrobku, zatiaľ čo staršie zariadenia môžu dosahovať až 2,0 kWh/kg. Priemyselné pekárne s dennou produkciou rádovo desiatok ton preto generujú veľmi vysokú energetickú spotrebu, čo sa premieta do významného emisného príspevku.

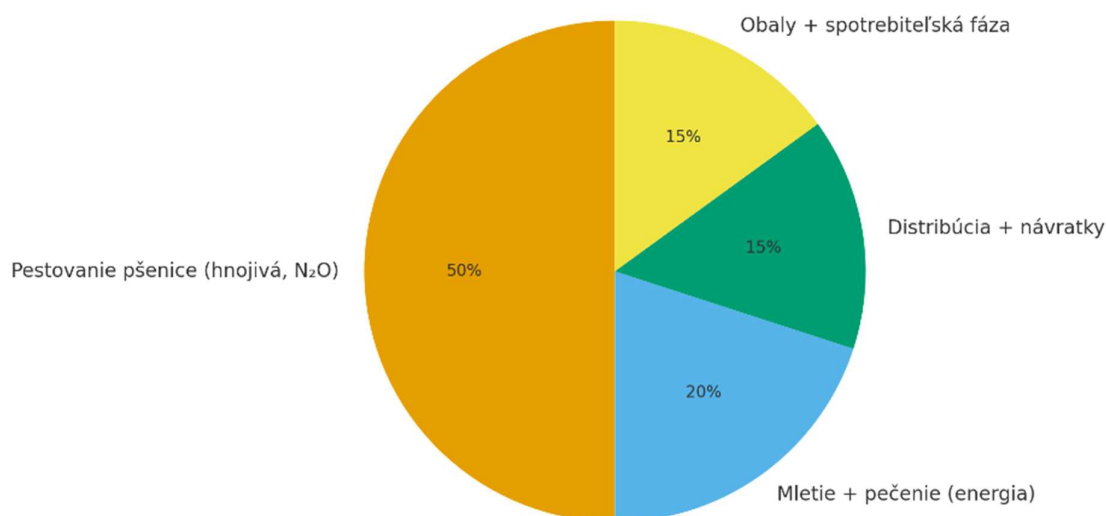
### 8.3.3 Distribúcia a návratky (~15 %)

Distribúcia výrobku a súvisiace návratky predstavujú približne 15 % uhlíkovej stopy. Významným faktorom je krátka trvanlivosť chleba, ktorá vedie k návratkam na úrovni 10 – 15 %. Každý kilogram vyhodneného chleba znamená dodatočnú stratu približne 0,8 – 1,0 kg CO<sub>2</sub>e/kg, pretože zahŕňa nielen emisie spojené s jeho výrobou, ale aj so spracovaním odpadu. V širšom kontexte je potravinový odpad zásadným problémom: na Slovensku dosahuje približne 83 kg na osobu a rok (z toho 65 kg vzniká v domácnostiach), pričom priemer v EÚ je ešte vyšší – 132 kg na osobu a rok (72 kg v domácnostiach).

### 8.3.4 Obaly a spotrebiteľská fáza (~15 %)

Zvyšných približne 15 % uhlíkovej stopy je spojených s obalmi a so spotrebiteľskou fázou. Výroba a recyklácia plastových fólií a papierových krabíc prispieva relatívne menším dielom, avšak významnejším faktorom je fáza samotnej spotreby. Domáce skladovanie v chladničkách a následné plytvanie potravinami zvyšujú celkovú uhlíkovú stopu chleba. V niektorých modeloch môže spotrebiteľská fáza tvoriť až štvrtinu celkových emisií, pričom práve domácnosti sú hlavným miestom vzniku potravinového odpadu.

Priemerné rozdelenie uhlíkovej stopy chleba (kg CO<sub>2</sub>e/kg)



## 8.4 Syntéza emisných profilov z literatúry

Podľa metaanalýzy Poore & Nemecek (2018) sa intenzita emisií pri pestovaní obilnín nachádza na nižšej až strednej úrovni v porovnaní s potravinami živočíšneho pôvodu, pričom absolútne hodnoty závisia od výnosov plodín a regionálneho energetického mixu. Mletie sa vo väčšine LCA štúdií ukazuje ako relatívne malý prispievateľ, často pod hranicou 10 – 15 %. Naopak, pečenie predstavuje jednoznačný energetický „hot-spot“, pričom odhady spotreby energie dosahujú približne 0,8 MJ tepla na 1 kg chleba. V oblasti balenia a logistiky je príspevok menší, avšak významnú úlohu zohráva recyklácia obalových materiálov a efektívnosť distribúcie. Spotrebiteľská fáza, zahŕňajúca skladovanie, chladenie a plytvanie, môže v niektorých štúdiách predstavovať až 25 % celkovej uhlíkovej stopy, pričom domácnosti sú v EÚ hlavným miestom vzniku potravinového odpadu.

**Agronómia (obilie → zrno):** Emisie z pestovania obilnín sa vyznačujú značným rozptylom v závislosti od výnosov a intenzity hnojenia. Podľa Poore & Nemecek (2018) patria obilniny medzi potraviny s nižšou uhlíkovou intenzitou než produkty živočíšneho pôvodu, pričom absolútne hodnoty sa odvíjajú od lokálnych podmienok a energetického mixu.

**Mletie:** Fáza mletia predstavuje relatívne malý príspevok, často pod hranicou 10 – 15 %, čo potvrdzujú viaceré sektorové štúdie. Dominantnými zdrojmi zostávajú pestovanie a pečenie, ktoré spoločne predstavujú približne 80 % uhlíkovej stopy chleba.

**Pečenie:** Pečenie predstavuje energetický hot-spot. Spotreba sa pohybuje okolo 0,8 MJ tepla/kg chleba, čo zodpovedá približne 0,22 kWh/kg – teda hodnotám nameraným v moderných linkách (0,22 – 0,25 kWh/kg).

**Balenie a logistika:** Podiel tejto fázy je menší, no jej význam stúpa pri zohľadnení recyklácie a efektívnosti distribúcie. Krátke dopravné vzdialenosti znižujú jej relatívny význam, avšak obalové materiály a návratky majú potenciál na zlepšenie environmentálnej bilancie.

**Spotreba a plytvanie:** Spotrebiteľská fáza, ak je zahrnutá, môže v niektorých štúdiách predstavovať až štvrtinu celkovej uhlíkovej stopy. Zahŕňa nielen emisie zo skladovania a prípravy, ale aj potravinové plytvanie. Domácnosti sú pritom v EÚ hlavným miestom vzniku potravinového odpadu, čo robí túto fázu environmentálne kritickou.

## 8.5 Výsledky kľúčových LCA štúdií a ich porovnanie

Výsledky kľúčových štúdií životného cyklu poukazujú na to, že uhlíková stopa chleba sa môže v jednotlivých krajinách a modeloch významne líšiť v závislosti od nastavených hraníc systému a zahrnutých fáz. Britská štúdia vypracovaná podľa metodiky PAS 2050 pre balený krájaný chlieb uvádza hodnotu 0,98 – 1,24 kg CO<sub>2</sub>e/kg na bochník s hmotnosťou 800 g, čo zodpovedá približne 1,22 – 1,55 kg CO<sub>2</sub>e/kg na kilogram výrobku. V tomto prípade boli do hodnotenia zahrnuté aj fázy spotrebiteľa, teda skladovanie, chladenie a pod., pričom ako hlavné hotspotsy boli identifikované pestovanie s podielom približne 35 % a spotreba v domácnosti, ktorá prispieva k celkovej stope približne 25 %.

Odlíšne výsledky priniesla švédsko štúdia pre ražný chlieb, ktorá bola definovaná po hranicu maloobchodu (cradle-to-retail). V tomto prípade bola uhlíková stopa kvantifikovaná na úrovni 0,37 kg CO<sub>2</sub>e/kg, čo je výrazne nižšia hodnota než v britskom kontexte. Dominantným zdrojom emisií boli ingrediencie, predovšetkým obilie a múka, pričom druhým významným faktorom bolo balenie.



Spotrebiteľská fáza do tohto modelu zahrnutá nebola, čo významne vysvetľuje rozdiel oproti výsledkom z Veľkej Británie.

Syntetizované výsledky na úrovni Európskej únie ukazujú, že pestovanie a pečenie tvoria spoločne približne 80 % celkovej uhlíkovej stopy chleba, zatiaľ čo mletie a distribúcia majú podstatne menší význam. Tento záver potvrdzujú aj sektorové analýzy organizácie *European Flour Millers*, ktoré konzistentne zdôrazňujú primárny význam poľnohospodárskej a technologickej fázy výroby.

Rozdiely medzi jednotlivými štúdiami, ktoré sa pohybujú od 0,37 kg CO<sub>2</sub>e/kg až po približne 1,3 – 1,5 kg CO<sub>2</sub>e/kg, vyplývajú predovšetkým z rozdielnych systémových hraníc, teda z toho, či je do hodnotenia zahrnutá aj spotrebiteľská fáza. Okrem toho ich ovplyvňuje typ chleba (pšeničný alebo ražný), obsah vlhkosti výrobku, regionálny energetický mix (napr. využitie plynu alebo elektriny pri pečení), použité obalové materiály, miera plytvania a tiež spôsob konzumácie. Tieto faktory spôsobujú, že výsledky LCA nie sú univerzálne prenosné, ale je potrebné ich vždy interpretovať v kontexte konkrétneho produktu, technológie a regiónu.



## 9 Prípadová štúdia: pšenica a pečivo – reorganizácia výroby a predaja

Reorganizácia výroby a predaja pšeničného chleba predstavuje významný potenciál pre znižovanie emisií skleníkových plynov i pre úspory nákladov v celom hodnotovom reťazci – od poľnohospodárskej produkcie až po distribúciu.

**Prvovýroba** prináša najväčšie úspory prostredníctvom precízneho mapovania pôdnych zón a variabilného dávkovania dusíka. Pilotné projekty na Slovensku ukazujú, že takýto prístup umožňuje znížiť spotrebu hnojív o 15 – 20 % bez negatívneho vplyvu na úrodu. Výsledkom je nielen finančná úspora, ale aj redukcia emisií N<sub>2</sub>O, ktoré môžu pri veľkých farmách predstavovať niekoľko stoviek ton CO<sub>2</sub>e ročne.

**Mlynárska fáza** ponúka možnosti optimalizácie prostredníctvom modernizácie pohonov a zlepšenia preosievania. Tieto opatrenia dokážu znížiť spotrebu energie o 10 – 15 %.

**Pekárská fáza** je centrom dekarbonizácie, predovšetkým v oblasti pecí. Elektrifikácia a rekuperácia spalín umožňujú redukciiu spotreby energie o 20 – 30 %. Pri dennej produkcii 20 ton chleba to znamená úsporu až 1 500 kWh denne, čo zodpovedá približne 375 kg CO<sub>2</sub>e denne (pri emisnom faktore 0,25 kg CO<sub>2</sub>e/kWh).

**Distribúcia** sa môže reorganizovať prostredníctvom dynamického trasovania a digitálnych systémov predikcie dopytu. Tieto nástroje dokážu znížiť návratky pečiva o 20 – 30 %. Ak sa podiel návratov zníži zo 15 % na 10 %, pri produkcii 10 ton chleba sa ušetrí približne 0,4 t CO<sub>2</sub>e denne.

Praktický príklad (zjednodušený, ilustračný) pre 1 kg pšeničného chleba v európskom kontexte – profil po bránu pekárne (cradle-to-gate):

- farma (zrno): ~0,15 – 0,30 kg CO<sub>2</sub>e/kg chleba (v závislosti od výnosu a použitého dusíka),
- mletie: ~0,03 – 0,08 kg CO<sub>2</sub>e/kg,
- pekáreň (pečenie a pomocné procesy): ~0,10 – 0,25 kg CO<sub>2</sub>e/kg (podľa paliva a účinnosti),
- balenie a logistika: ~0,03 – 0,08 kg CO<sub>2</sub>e/kg.

Celkový súčet po bránu pekárne sa pohybuje približne na úrovni 0,75 – 0,80 kg CO<sub>2</sub>e/kg chleba, čo je v súlade s literatúrou (Kaiser – Röder, 2020). Pri zahrnutí retailu (doprava, balenie, návratky) sa k uvedeným hodnotám obvykle pripočíta 0,15 – 0,40 kg CO<sub>2</sub>e/kg, teda výsledok sa pohybuje okolo 0,9 – 1,2 kg CO<sub>2</sub>e/kg. Ak započítame aj spotrebiteľskú fázu (skladovanie, dopek, odpad), dosahujeme typicky 1,2 – 1,5 kg CO<sub>2</sub>e/kg chleba.



## 10 Meranie, dohľadateľnosť a reporting

Moderné systémy merania a dohľadateľnosti sú základom pre environmentálne aj ekonomické riadenie reťazca. Integrovaná dátová architektúra spája polia, mlyny, pekárne a distribúciu do jednotného informačného systému.

Kľúčové ukazovatele sú:

- kWh spotrebovanej energie na kilogram múky alebo chleba,
- kg N aplikovaného hnojiva na hektár a výsledný výnos,
- podiel návratiek na celkovej produkcii (%),
- uhlíková stopa na kilogram výrobku a na euro tržieb.

Dohľadateľnosť v reálnom čase umožňuje rýchlu reakciu na incidenty. Napríklad ak sa zistí zvýšená vlhkosť v sile, systém môže okamžite navrhnúť intenzívnejšie prevzdušňovanie alebo presun šarže do iného skladu. To znižuje riziko strát aj emisií.



# 11 Scenáre dekarbonizácie a citlivostná analýza

V rámci prípravy stratégie dekarbonizácie boli navrhnuté tri modelové scenáre, ktoré sa líšia rozsahom opatrení, výškou investícií, ako aj predpokladaným environmentálnym prínosom.

## 1. Nízko-nákladový scenár

Tento scenár predstavuje súbor opatrení, ktoré si vyžadujú minimálne dodatočné investície a sú z veľkej časti realizovateľné už v krátkodobom horizonte. Zahŕňa najmä:

zavedenie **variabilného hnojenia** na poľnohospodárskej úrovni s cieľom optimalizovať vstupy a znížiť spotrebu dusíkatých hnojív, ktoré patria medzi významných producentov emisií skleníkových plynov,

**jednoduché opatrenia proti plytvaniu**, ako je ponúkanie zliav na nepredané pečivo vo večerných hodinách, čím sa redukuje množstvo odpadu,

vykonanie **základných energetických auditov**, ktoré pomôžu identifikovať najväčšie zdroje energetických strát a odporučiť nízkonákladové zlepšenia.

Pri implementácii tohto scenára sa predpokladá zníženie emisií o 10 – 15 %. Výhodou je nízka finančná náročnosť a relatívne rýchla realizácia, nevýhodou však obmedzený potenciál ďalšieho rozvoja.

## 2. Stredne nákladový scenár

Stredne nákladový variant je založený na technologickej modernizácii a digitalizácii, ktorá si vyžaduje stredne vysoké investície, ale ponúka citeľne vyšší potenciál redukcie emisií. Medzi hlavné opatrenia patria:

**elektrifikácia pekárenských pecí**, ktorá znižuje závislosť od fosílnych palív a otvára cestu k využívaniu nízkoemisných zdrojov elektriny,

**digitalizácia logistiky**, čo umožňuje optimalizáciu distribučných trás, redukcii nadbytočných jzd a efektívnejšie plánovanie dodávok,

**zmenšenie výrobných šarží na základe predajných dát**, čím sa znižuje objem nadprodukcie a následného odpadu.

Očakávaná redukcia emisií dosahuje 25 – 30 %. Tento scenár predstavuje kompromis medzi investičnými nákladmi a výsledným efektom. Navyše zlepšuje flexibilitu výroby a umožňuje lepšiu reakciu na zmeny v dopyte.

## 3. Vysoko nákladový scenár

Najambicióznejší variant predpokladá zásadné zmeny vo výrobnom a distribučnom modeli a prináša aj najvyšší potenciál dekarbonizácie. Obsahuje:

- **cirkulárne využitie vedľajších tokov**, napríklad energetické zhodnocovanie otrúb v bioplynových staniciach, čím sa nielen redukuje emisie, ale aj vytvárajú nové zdroje energie,
- zavedenie **mikropekární priamo v predajniach**, čo minimalizuje logistické toky a skracuje dodávateľský reťazec,
- podpora **decentralizovaných výrobných kapacít**, ktoré prinášajú flexibilitu a výrazné obmedzenie prepravy.



V prípade tohto scenára sa predpokladá zníženie emisií na úrovni 40 – 50 %. Jeho nevýhodou sú však veľmi vysoké investičné náklady, dlhšia implementačná doba a potreba výrazných organizačných zmien.

Analýza citlivosti preukázala, že ekonomická návratnosť jednotlivých opatrení je vysoko závislá od externých trhových faktorov, najmä od cien energií a hnojív. Ako kľúčový sa ukázal parameter ceny elektriny – ak presiahne hranicu 0,25 €/kWh, investícia do elektrifikovanej pece sa stáva rentabilnou a návratná v horizonte približne piatich rokov. Podobné závislosti možno predpokladať aj pri ostatných opatreniach, kde vyššie ceny vstupov (napr. hnojív alebo palív) môžu zrýchliť návratnosť investícií do efektívnejších a udržateľnejších riešení.



## 12 Odporúčania na zníženie uhlíkovej stopy chleba

Na základe komplexnej analýzy životného cyklu možno konštatovať, že uhlíková stopa chleba je koncentrovaná do štyroch kľúčových oblastí, ktorými sú pestovanie pšenice, technologické spracovanie zahŕňajúce mletie a pečenie, distribúcia spojená s návratkami a spotrebiteľská fáza vrátane obalov a plytvania. Každá z týchto etáp predstavuje významný priestor na implementáciu cieľených mitigačných opatrení, ktoré môžu pri správnej koordinácii prispieť k dlhodobému znižovaniu environmentálnych dopadov výroby a spotreby chleba.

### Poľnohospodárstvo

V poľnohospodárskej fáze sú najväčším zdrojom emisií dusíkaté hnojivá, ktorých výroba je energeticky náročná a pri aplikácii na poliach dochádza k úniku oxidu dusného, plynu s vysokým globálnym otepľovacím potenciálom. Zavedenie precízneho hospodárenia, ktoré zahŕňa variabilné hnojenie a monitorovanie pôdných zón prostredníctvom GIS, umožňuje cielenejšiu aplikáciu hnojív, pričom optimalizácia dávok dokáže znížiť spotrebu dusíka o 15 až 20 %. Okrem toho je potrebné podporovať využívanie organických a recyklovaných hnojív, diverzifikáciu osevných postupov, striedanie plodín a aplikáciu zeleného hnojenia, ktoré spolu prispievajú nielen k znižovaniu emisií, ale aj k zvyšovaniu obsahu organickej hmoty v pôde a jej odolnosti voči klimatickým extrémom.

### Technologické spracovanie

V technologickej fáze zohráva významnú úlohu energetická náročnosť, pričom mlyny môžu znižovať spotrebu elektriny modernizáciou pohonov, zavádzaním efektívnejších motorov a optimalizáciou prevádzky prostredníctvom digitalizácie. Najväčší potenciál úspor sa však nachádza v procese pečenia, ktorý predstavuje energetický „hot-spot“, a preto je nevyhnutné investovať do hybridných a elektrifikovaných pecí, zavádzať vysokoteplotné rekuperačné systémy, zlepšovať izoláciu pecí a reguláciu spaľovania a postupne prechádzať na obnoviteľné zdroje energie, akými sú bioplyn alebo zelená elektrina. Významnou doplnkovou stratégiou je aj využívanie digitálneho monitoringu výrobných liniek, ktorý umožňuje optimalizovať energetické toky v reálnom čase.

### Distribúcia a návratky

Krátka trvanlivosť chleba spôsobuje, že miera návratiek sa pohybuje na úrovni 10 až 15 %, čo predstavuje nielen ekonomickú stratu, ale aj významné zbytočné emisie. Na zmiernenie tohto problému je potrebné zlepšiť logistické reťazce a flexibilne plánovať zásoby, pričom prepojenie výroby s predajnými dátami umožňuje vyrábať menšie šarže podľa aktuálneho toku zákazníkov. Účinnými opatreniami sú aj zavedenie dynamických zliav pri blížiacej sa expirácii, rozšírenie ponuky menších gramáží alebo využívanie inteligentných regálov, ktoré v reálnom čase monitorujú predaje. V prípade, že sa výrobky nepodarí predať, je potrebné zabezpečiť ich sekundárne využitie, napríklad na výrobu krmív alebo bioenergie.

### Obaly a spotrebiteľská fáza

Obaly a spotrebiteľská fáza prispievajú k uhlíkovej stope približne 15 %, pričom efektívne riešenia sa spájajú s kombináciou technologických a behaviorálnych opatrení. Z technologického hľadiska je dôležité uprednostňovať recyklovateľné a kompostovateľné materiály, zosúladiť stratégiu obalov s legislatívou Európskej únie a zavádzať inovatívne balenia s predĺženou trvanlivosťou, ktoré umožňujú znížiť spotrebu plastových fólií. Zo spotrebiteľského hľadiska je kľúčové znižovanie



potravinového odpadu v domácnostiach, keďže práve tie sú v Európskej únii hlavným miestom jeho vzniku. Významnú úlohu preto zohráva edukácia spotrebiteľov o správnom skladovaní pečiva, efektívnom využívaní mrazničiek a možnostiach spracovania zvyškov, napríklad vo forme strúhanky alebo alternatívnych receptov.

### **Integrovaný reporting a systémové opatrenia**

Aby sa dosiahla transparentnosť a dlhodobá udržateľnosť, je potrebné zaviesť systémy merania uhlíkovej stopy v súlade s metodikami GHG Protocol a PEF, pričom dôležitú úlohu zohráva aj externá verifikácia dát. Vhodným krokom je vytvorenie jednotnej dátovej platformy pre uhlíkový reporting, prepojenie ERP systémov so senzormi v reálnom čase a podpora partnerstiev, ktoré umožnia zdieľať úspory a inovácie v rámci celého hodnotového reťazca.



## 13 Implementačné bariéry a riadenie zmeny

Najväčšou bariérou dekarbonizácie pekárenského sektora je vysoká kapitálová náročnosť investícií a nedostatok kvalifikovaného personálu. Keďže väčšina pekární funguje ako rodinné podniky so slabšou kapitálovou základňou, kľúčové sú dotácie a zvýhodnené úvery.

Ďalšou významnou bariérou sú konzervatívne spotrebiteľské návyky – zákazníci tradične očakávajú čerstvé ranné pečivo. Tento zvyk sťažuje zavádzanie nových výrobných modelov založených na menších a častejších šaržiacich.

Riadenie zmeny si preto vyžaduje kombináciu technologických inovácií, procesných úprav a kultúrnej transformácie. Významnú úlohu zohrávajú pilotné projekty a partnerstvá medzi pekárňami a obchodnými reťazcami, ktoré umožňujú rýchlejšiu implementáciu inovácií. Dôležitým faktorom je tiež transparentná komunikácia environmentálnych prínosov, ktorá môže zvýšiť ochotu spotrebiteľov akceptovať mierne zmeny v sortimente.

### Scenáre mitigácie a osvedčené postupy

V oblasti poľnohospodárstva je možné znižovať emisie najmä prostredníctvom optimalizácie dusíka, ktorá zahŕňa variabilné dávkovanie, využívanie nitrifikačných inhibítorov a presného poľnohospodárstva, ako aj prechod na hnojivá s nižšou uhlíkovou stopou, napríklad na zelený amoniak. Dôležitú úlohu zohrávajú aj regeneratívne postupy, medzi ktoré patrí pestovanie medziplodín, minimalizácia orby či zlepšovanie obsahu organického uhlíka v pôde, pričom tieto opatrenia prinášajú aj vedľajšie prínosy, ako je vyššia retencia vody a podpora biodiverzity. Okrem toho sa čoraz viac presadzuje koordinácia v celom dodávateľskom reťazci, keď európske iniciatívy spájajú pekárne, mlyny a farmárov s cieľom dosiahnuť zníženie emisií pri pestovaní pšenice približne o 30 % do roku 2030.

Proces mletia sa síce podieľa na emisiách v menšej miere, no patrí medzi relatívne ľahko dekarbonizovateľné časti reťazca. Kľúčovým krokom je jeho elektrifikácia a využívanie elektriny z obnoviteľných zdrojov, modernizácia mlynárskych liniek prostredníctvom úprav pohonov a variabilných pohonov (VSD) či optimalizácia sitovania, ktoré zvyšujú energetickú účinnosť.

Samotné pekárne ponúkajú široké možnosti úspor. Zlepšenie účinnosti pecí možno dosiahnuť rekuperáciou spalín, kvalitnejšou izoláciou a optimalizáciou profilu pečenia, pričom real-time monitorovanie spotreby energie odhaľuje, že až 20 % plynu môže unikať bez reálneho prínosu. K významným opatreniam patrí aj palivový switching, teda prechod z plynu na elektrické pece v prípade dostupnosti nízkouhlíkového energetického mixu alebo využitie alternatívnych zdrojov, ako sú para či biometán; modernizácia a rekuperácia pritom umožňujú redukovať spotrebu energie približne o 0,8 MJ na kilogram výrobku. Na úrovni každodennej operatívy prináša výsledky optimalizácia dávok, rovnomerné zaťaženie liniek, skrátenie predohrevov a minimalizácia prestojov.

V časti balenia a logistiky sa pozornosť sústreďuje na znižovanie materiálnej náročnosti, ktoré možno dosiahnuť použitím tenkostenných fólií, recyklátov či monomateriálov, ale aj zavádzaním vratných prepraviek. Logistika sa dá zefektívniť dôslednejším plánovaním trás a využívaním elektrických nákladných vozidiel alebo biopalív, čo je mimoriadne vhodné pri krátkych a častých rozvozech čerstvého pečiva.

V maloobchode a na úrovni spotrebiteľa zohráva významnú úlohu riadenie čerstvosti, ktoré stojí na presnejších predikciách dopytu, dynamickej cenotvorbe a darovaní nespotrebovaných výrobkov,



pričom európske politiky smerujú k čoraz prísnejším opatreniam proti plytvaniu potravinami. V domácnostiach sa odporúča správne skladovanie a mrazenie a využívanie staršieho chleba napríklad na prípravu strúhanky alebo žemľovky. Prevencia potravinového odpadu je v tejto fáze jedným z najúčinnějších opatrení na znižovanie celkovej environmentálnej stopy.

### **Porovnanie hraníc a interpretácia**

Pri hodnotení uhlíkovej stopy po bránu pekárne (cradle-to-gate) vychádza súčet typicky na 0,75 – 0,80 kg CO<sub>2</sub>e/kg. Po maloobchod (cradle-to-retail) sa v európskom kontexte obvykle pohybujeme na ~0,9 – 1,2 kg CO<sub>2</sub>e/kg (doprava, balenie, návratky). Po celý životný cyklus (cradle-to-grave), pri započítaní správania domácností (skladovanie, dopek, odpad), sa výsledok často dostáva na ~1,2 – 1,5 kg CO<sub>2</sub>e/kg. Hodnoty 0,3 – 0,6 kg CO<sub>2</sub>e/kg je vhodné chápať len ako teoretický spodný scenár pri simultánne priaznivých predpokladoch (vysoké výnosy, nízkoemisný mix, veľmi nízke návratky) a nie ako bežný priemer.

### **Politiky a štandardizácia**

Na úrovni politík sa využíva rámec PEF/PEFCR, ktorý umožňuje jednotné a porovnateľné hodnotenie environmentálnej stopy a ktorý sa postupne aplikuje aj na pekárenské výrobky prostredníctvom špecifických sektorových štandardov. Paralelne prebiehajú aj európske sektorové iniciatívy, v rámci ktorých pekárne, mlynári a farmári koordinujú svoje ciele a zaviazali sa k znižovaniu emisií približne o 30 % do roku 2030, pričom hlavným dôrazom je poľnohospodárska fáza a znižovanie energetickej náročnosti v samotných pekárňach.



## 14 Záver

Pšenično-pekárska vertikála predstavuje kľúčový prvok potravinovej bezpečnosti, ekonomiky vidieka a zároveň je neoddeliteľnou súčasťou kultúrnej identity Slovenska i Európy. Analýza ukazuje, že uhlíkovú stopu chleba možno výrazne znížiť kombináciou presného poľnohospodárstva, modernizácie energetických procesov a systematického obmedzovania plytvania. Najväčší environmentálny aj ekonomický prínos prináša redukcia návratiek a potravinového odpadu, ktoré v súčasnosti dosahujú 10 – 15 % produkcie. Zavedenie transparentného systému merania a dohľadateľnosti zvyšuje dôveru spotrebiteľov i obchodných partnerov, pričom investície do digitalizácie a elektrifikácie sa vracajú nielen v podobe nižších emisií, ale aj stabilnejších marží.

Budúci úspech vertikály pšenica – pečivo bude závisieť od schopnosti integrovať obchodné a environmentálne ciele do jedného modelu, ktorý je odolný voči šokom a flexibilne reaguje na meniace sa spotrebiteľské preferencie. Z metodologického hľadiska je pritom zrejmé, že uhlíková stopa chleba na jednotku hmotnosti je relatívne nízka v porovnaní s výrobkami živočíšneho pôvodu ( $\approx 0,9 - 1,6 \text{ kg CO}_2\text{e/kg}$  vs.  $1,2 - 1,6 \text{ kg CO}_2\text{e/l}$  mlieka FPCM). Avšak v dôsledku masovej spotreby (desiatky kilogramov na osobu ročne) predstavuje významný environmentálny problém. Najväčšie emisie vznikajú pri pestovaní pšenice ( $\text{N}_2\text{O}$  z pôdy) a pri plytvaní pečivom, zatiaľ čo technologické inovácie v mlynoch a pekárňach, hoci sú prínosné, nedosahujú efektívnosť opatrení zameraných na redukciu odpadu. Modelové scenáre potvrdzujú, že kombinácia precízneho hospodárenia, energetickej modernizácie a dôsledného boja proti plytvaniu môže znížiť uhlíkovú stopu chleba až o 30 – 40 %, a to bez negatívneho dopadu na kvalitu výrobkov či konkurencieschopnosť podnikov.

V poľnohospodárstve sú rozhodujúce výnosy, spotreba dusíka a emisie  $\text{N}_2\text{O}$ , ktoré určujú efektívnosť pestovania aj uhlíkovú stopu. V mlynskej fáze je kľúčovým ukazovateľom energetická náročnosť mletia, keďže prevádzka strojov a pneumatickej dopravy múky predstavuje najväčšiu položku spotreby energie. V pekárňach dominuje spotreba energie na pečenie a podiel návratiek, ktoré priamo ovplyvňujú množstvo premárnených emisií. V distribúcii a spotrebe zohrávajú zásadnú úlohu náklady na dopravu a množstvo potravinového odpadu, ktoré výrazne formujú uhlíkový profil celého reťazca.



## 15 Prílohy

### 15.1 Slovník pojmov a skratiek

**Uhlíková stopa (Carbon Footprint)** – súhrn emisií skleníkových plynov priradených k výrobku alebo procesu, vyjadrený v ekvivalente CO<sub>2</sub>e. Pri chlebe ide o emisie z pestovania pšenice, spracovania, distribúcie, obalov a spotrebiteľskej fázy.

**LCA (Life Cycle Assessment – analýza životného cyklu)** – metodika hodnotenia environmentálnych dopadov výrobku alebo služby v celom jeho životnom cykle. Pri chlebe to znamená od pestovania obilia až po vyhodenie zvyškov v domácnosti.

**PEF (Product Environmental Footprint)** – rámec EÚ na hodnotenie environmentálnej stopy produktov. Umožňuje porovnateľnosť medzi rôznymi výrobkami a podnikmi.

**GHG Protocol** – medzinárodný štandard pre výpočet emisií. Rozlišuje Scope 1 (priame), Scope 2 (z energií) a Scope 3 (rozšírené nepriame).

**Enterická fermentácia** – biologický proces u prežúvavcov, ktorý však v pšenično-pekárskej vertikále nevystupuje (bol kľúčový pri mliečnej vertikále). V tejto práci sa sústreďujeme na emisie N<sub>2</sub>O z pôdy.

**Anaeróbná digestia** – proces rozkladu biomasy bez prístupu kyslíka za vzniku bioplynu. V pekárskom reťazci je využiteľná na spracovanie potravinového odpadu a zvyškov.

**Variabilné dávkovanie hnojív (Precision Fertilisation)** – aplikácia hnojív podľa presne zmapovaných pôdnych zón a potreby rastlín. Znižuje spotrebu dusíka o 15 – 20 %.

**Rekuperácia tepla** – spätné využívanie odpadového tepla, napr. zo spalín pecí, na predohrev vzduchu alebo vody.

**Elektrifikácia tepelných procesov** – nahradenie spaľovania plynu alebo nafty elektrickými zdrojmi (napr. odporové alebo indukčné pece), ideálne napájanými z obnoviteľných zdrojov.

**Prediktívne plánovanie výroby** – plánovanie šarží v pekárňach na základe reálnych predajných dát a algoritmov umelej inteligencie. Umožňuje znížiť návratky až o 30 %.

**ESG (Environmental, Social, Governance)** – rámec hodnotenia podnikov podľa environmentálnych, sociálnych a riadiacich kritérií.

### 15.2 Rámcová mapa indikátorov a metodika

#### Indikátory na úrovni poľnohospodárstva

- Výnos pšenice (t/ha) – kľúčový ukazovateľ produktivity.
- Spotreba dusíka (kg N/ha) – optimálne 120 – 160 kg N/ha pri intenzívnych systémoch.
- Emisie N<sub>2</sub>O (kg N<sub>2</sub>O/ha) – vypočítané podľa emisného faktora (1 % aplikovaného dusíka → N<sub>2</sub>O).

#### Indikátory na úrovni mlynov

- Energetická náročnosť mletia (kWh/t múky) – benchmark: 60 – 95 kWh/t.
- Výťažnosť múky (%) – podiel múky z jedného kilogramu zrna (typicky 72 – 75 %).



- Podiel otrúb a vedľajších produktov (%) – indikátor pre cirkulárne využitie.

#### **Indikátory na úrovni pekární**

- Energetická spotreba pečenia (kWh/kg pečiva) – moderné pece: 0,22 – 0,25 kWh/kg.
- Podiel návratiek (%) – priemerná hodnota: 10 – 15 %.
- Emisie CO<sub>2</sub>e na kilogram chleba (CO<sub>2</sub>e/kg) – priemerne 0,9 – 1,6 kg CO<sub>2</sub>.

#### **Indikátory distribúcie a spotreby**

- Energetická náročnosť logistiky (MJ/t·km) – určuje vplyv transportu.
- Podiel potravinového odpadu v domácnostiach (kg/osoba/rok) – na Slovensku cca 65 kg, v EÚ cca 72 kg.
- Emisie z potravinového odpadu (CO<sub>2</sub>/kg odpadu) – podľa metodiky IPCC sa vyhadzovanie 1 kg chleba rovná ~0,8 – 1,0 kg CO<sub>2</sub>e/kg.

#### **Metodika merania**

- Energia: meraná podružnými elektromermi priamo na linkách.
- Teplota a vlhkosť: kontinuálny záznam v skladoch a silách.
- Kvalita múky: laboratórne analýzy (lepok, pádové číslo, obsah popola).
- ERP integrácia: údaje z výrobných systémov (objemy, šarže) prepojené s údajmi o spotrebe energií a materiálov.

### **15.3 Metodika zberu dát, kvalita údajov a integrácia do reportingu**

#### **Zber dát**

- Automatizované snímanie: senzory na peciach, mlynoch a sušičkách. Minimalizuje manuálne zadávanie, znižuje chybovosť.
- GPS a GIS dáta: pre mapovanie poľných zón pri variabilnom hnojení.
- Laboratórne vzorky: pravidelná kontrola kvality zrna a múky.
- Digitálne predajné dáta: prepojenie predajných terminálov a systémov predikcie dopytu.

#### **Kvalita údajov**

- Validačné pravidlá: napr. kontrola, že spotreba energie na peci neklesne pod fyzikálne možné minimum.
- Kalibrácie: pravidelné kalibrovanie meradiel (elektromery, vlhkomery).
- Interné audity: porovnávanie materiálovej bilancie so skladovými pohybmi.

#### **Integrácia do reportingu**

- Napojenie na ESG reporting: údaje o energiách a emisiách sa mapujú na rámce GRI alebo ESRS.
- Jednotná dátová ontológia: všetky dáta musia používať rovnaké identifikátory (šarža, linka, predajňa).
- Verzovanie metodiky: ak sa zmení emisný faktor (napr. pre elektrinu), všetky prepočty sa zaznamenajú s verziou metodiky.



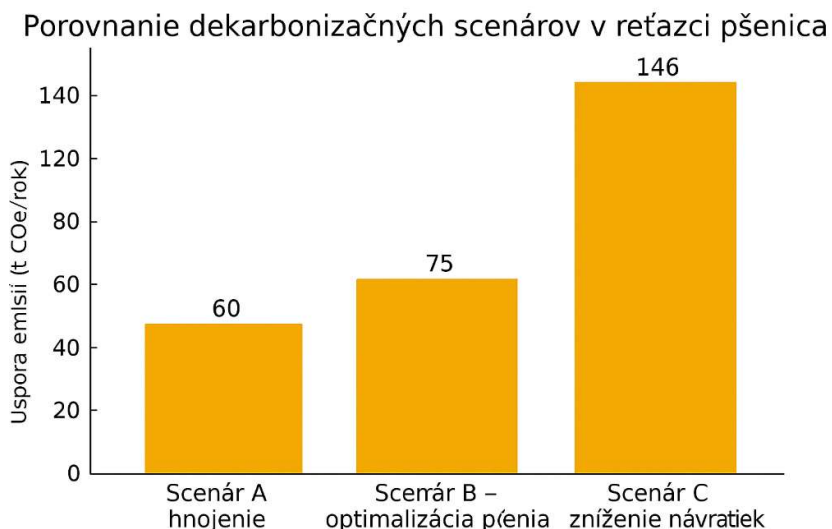
- Externá verifikácia: dáta o emisiách by mali byť overené treťou stranou (audítorom), aby boli použiteľné pre regulované reportovanie.

#### 15.4 Orientačné scenáre a kvantifikované efekty

Stĺpcový graf ukazuje ročnú úsporu emisií v troch modelových scenároch.

- **Scenár A (redukcia hnojenia dusíka o 15 %)** prináša úsporu približne **83-94 t CO<sub>2</sub>e/rok** na 1 000 ha, čo je významné, no v absolútnej hodnote nižšie než opatrenia vo fáze spracovania.
  - Úspora ~20 kg N/ha.
  - Pri emisnom faktore 1 % znamená redukciu o 0,2 kg N<sub>2</sub>O/ha (≈83-94 kg CO<sub>2</sub>e/ha).
  - Pri 1 000 ha = úspora 83-94 t CO<sub>2</sub>e ročne.
- **Scenár B (optimalizácia pečenia)** má vyšší efekt – úsporu **75 t CO<sub>2</sub>e/rok** pri priemernej pekárni s produkciou 20 ton denne. Ide najmä o zníženie spotreby elektriny alebo plynu.
  - Denná produkcia 20 t = úspora 1 000 kWh denne.
  - Pri EF 0,25 kg CO<sub>2</sub>e/kWh = 250 kg CO<sub>2</sub>e denne.
  - Ročne (300 pracovných dní) = 75 t CO<sub>2</sub>e (pri 20 % úspore)
- **Scenár C (znižovanie návratiek z 15 % na 10 %)** prináša najväčší efekt – až **146 t CO<sub>2</sub>e/rok** pri produkcii 10 ton denne. Ukazuje sa, že boj proti plytvaniu má väčší dosah než mnohé technologické opatrenia.
  - Pri 10 t produkcie denne = 500 kg menej odpadu.
  - Pri 0,9 kg CO<sub>2</sub>e/kg chleba („konzervatívny predpoklad“) = úspora 0,4 t CO<sub>2</sub>e denne.
  - Ročne (365 dní) = 146 t CO<sub>2</sub>e.

Z porovnania vyplýva, že najefektívnejšou stratégiou je **kombinácia presného poľnohospodárstva, energetickej optimalizácie a znižovania potravinových strát**. Spolu môžu tieto opatrenia znížiť uhlíkovú stopu chleba o viac ako 40 %. Tieto scenáre dokazujú, že opatrenia na zníženie plytvania a optimalizáciu procesov majú podobný alebo väčší efekt ako technologické inovácie.



## 16 Zoznam použitej literatúry

1. FAO. FAOSTAT – Crops and livestock products (Wheat data). Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2023. Dostupné na: <https://www.fao.org/faostat>
2. IPCC. 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change, 2019. Dostupné na: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf>
3. PRODUCT ENVIRONMENTAL FOOTPRINT CATEGORY RULES FOR BAKERY PRODUCTS. Brussels: European Commission, 2021 (update in progress, 2025).
4. GUSTAVSSON, J. et al. Global Food Losses and Food Waste: Extent, Causes and Prevention. Rome: FAO, 2011. Dostupné na: <https://www.fao.org/3/i2697e/i2697e.pdf>
5. STENMARCK, Å. et al. Estimates of European food waste levels. Stockholm: IVL Swedish Environmental Research Institute, 2016. Dostupné na: <https://www.eu-fusions.org>
6. EUROSTAT. Agricultural production – crops (Wheat statistics). Luxembourg: Eurostat, 2022. Dostupné na: <https://ec.europa.eu/eurostat>
7. BERNERS-LEE, M. et al. The relative greenhouse gas impacts of realistic dietary choices. Energy Policy, 2012, 43, 184–190. Dostupné na: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.12.054>
8. KAISER, S. – RÖDER, N. Carbon footprint of bread in Europe: An LCA approach. Journal of Cleaner Production, 2020, 261, 121-145. Dostupné na: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121145>
9. HLPE. Food losses and waste in the context of sustainable food systems. Rome: High Level Panel of Experts, Committee on World Food Security, 2014. Dostupné na: <https://www.fao.org/cfs/cfs-hlpe>
10. OECD-FAO. Agricultural Outlook 2021–2030 (Wheat chapter). Paris: OECD/FAO, 2021. Dostupné na: <https://www.oecd-ilibrary.org>
11. POORE, J. – NEMECEK, T. Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. Science, 2018, 360(6392), 987–992. Dostupné na: <https://doi.org/10.1126/science.aag0216>
12. ECOINVENT. Ecoinvent database v3.9. Zurich: Swiss Centre for Life Cycle Inventories, 2019. Dostupné na: <https://www.ecoinvent.org>
13. WORLD RESOURCES INSTITUTE – WBCSD. Greenhouse Gas Protocol: A Corporate Accounting and Reporting Standard. Revised Edition. Washington D.C.: World Resources Institute and World Business Council for Sustainable Development, 2004. Dostupné na: <https://ghgprotocol.org>
14. BRITISH STANDARDS INSTITUTION. PAS 2050:2011. Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services. London: BSI, 2011.
15. SMITH, A. et al. The greenhouse gas impacts of consuming bread in the UK: a PAS 2050 case study. The Carbon Trust/DEFRA, London, 2010.
16. SONESSON, U. et al. Greenhouse gas emissions in bread supply chains – a Swedish case study. International Journal of Life Cycle Assessment, 2009, 14, 75–82. Dostupné na: <https://doi.org/10.1007/s11367-008-0057-y>
17. EUROPEAN FLOUR MILLERS. Sector environmental reports and studies. Brussels: European Flour Millers, 2020. Dostupné na: <https://www.europeanflourmillers.eu>



18. EUROPEAN UNION. Regulation (EC) No 178/2002 of the European Parliament and of the Council of 28 January 2002 laying down the general principles and requirements of food law. Official Journal of the European Communities, 2002.
19. EUROPEAN UNION. Regulation (EC) No 852/2004 of the European Parliament and of the Council of 29 April 2004 on the hygiene of foodstuffs. Official Journal of the European Communities, 2004.
20. EUROPEAN UNION. Directive (EU) 2018/852 of the European Parliament and of the Council of 30 May 2018 amending Directive 94/62/EC on packaging and packaging waste. Official Journal of the European Union, 2018.
21. EUROPEAN UNION. Directive (EU) 2022/2464 of the European Parliament and of the Council of 14 December 2022 as regards corporate sustainability reporting (CSRD). Official Journal of the European Union, 2022.
22. SEPS. Emisné faktory elektriny v SR 2023. Bratislava: Slovenská elektrizačná prenosová sústava, 2023. Dostupné na: <https://www.sepsas.sk>





Autor:

**Ing. Andrej Bencel, PhD.**

Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre

**2026**



[www.decarb.uniag.sk](http://www.decarb.uniag.sk)