

IZPUSTI NEMETANSKIH HLAPNIH ORGANSKIH SPOJIN V KMETIJSTVU



ONESNAŽILA ZRAKA

**IZPUSTI NEMETANSKIH HLAPNIH
ORGANSKIH SPOJIN (NMVOC-OV) V
KMETIJSTVU
IZVOR, ŠKODLJIVI VPLIVI IN MOŽNOSTI ZA
ZMANJŠANJE IZPUSTOV**

Jože Verbič
Kmetijski inštitut Slovenije

Ljubljana 2022

Izdal in založil

KMETIJSKI INŠTITUT SLOVENIJE

Ljubljana, Hacquetova ulica 17

Publikacija je izšla v elektronski obliki in je objavljena na spletni strani Kmetijskega inštituta Slovenije, <http://www.kis.si/>

Avtor

dr. Jože Verbič, mag., univ. dipl. inž. zoot.

Uredila Lili Marinček, univ. dipl. inž. zoot

Fotografija na naslovnici

Jože Verbič

Fotografije v publikaciji

Jože Verbič

Elektronska izdaja

Kataložni zapis o publikaciji (CIP) pripravili v Narodni in univerzitetni knjižnici v Ljubljani

COBISS.SI-ID [132378627](#)

ISBN 978-961-6998-66-6 (PDF)

Pripravo in objavo besedila je financiralo Ministrstvo za okolje in prostor v sklopu Strokovnih nalog s področja okolja.

KAZALO

	Stran
Uvod	4
Škodljivi vplivi NMVOC-ov za zdravje ljudi, živali in rastlin	4
Obveznosti Slovenije na področju izpustov NMVOC-ov	5
Izpusti predhodnikov ozona v Sloveniji	5
Kmetijski viri NMVOC-ov	5
Izpusti NMVOC-ov pri gojenju kmetijskih rastlin	6
Izpusti NMVOC-ov iz hlevov, gnojišč in na paši	8
Izpusti NMVOC-ov iz silosov in pri krmljenju silaže	10
Izpusti NMVOC-ov pri gnojenju kmetijskih rastlin z živinskimi gnojili	12
Pregled priporočil za zmanjšanje izpustov NMVOC-ov v kmetijstvu	15

UVOD

Nemetanske hlapne organske spojine (NMVOC-i) so organske spojine z nizkim vreliščem. Gre za snovi, ki prehajajo v zrak tudi pri sobnih temperaturah. Okrajšava (NMVOC) izhaja iz angleščine (Non-Methane Volatile Organic Compounds) in je tudi v slovenskih besedilih praviloma ne poslovenjamo. Večina NMVOC-ov v atmosferi je biogenega izvora. Proizvajajo jih predvsem rastline, pa tudi živali in mikroorganizmi. Precej NMVOC-ov prispevajo tudi industrija in druge človekove dejavnosti. Najpomembnejši ne-biogeni viri so proizvodnja in raba fosilnih goriv ter proizvodnja in raba topil.

V nadaljevanju so opisani škodljivi vplivi NMVOC-ov za zdravje ljudi, živali in rastlin, predstavljeni so kmetijski viri izpustov in opisane nekatere možnosti za njihovo zmanjšanje.

ŠKODLJIVI VPLIVI NMVOC-OV ZA ZDRAVJE LJUDI, ŽIVALI IN RASTLIN

NMVOC-i vplivajo na zdravje ljudi, živali in rastlin predvsem posredno, preko prizemnega ozona. Ozon nastaja iz NMVOC-ov s fotokemičnimi reakcijami, ki so najintenzivnejše v poletnih sončnih in vročih dneh. Zaradi omenjenih lastnosti uvrščamo NMVOC-e med predhodnike prizemnega (troposferskega) ozona¹. Podobne lastnosti ima tudi metan, ki prav tako sodi med hlapne organske spojine (VOC-e). Njegov potencial za tvorbo prizemnega ozona je približno sedemdesetkrat manjši od povprečja NMVOC-ov, zato ga obravnavamo posebej.

Izpostavljenost povečanim koncentracijam ozona v zraku lahko pri ljudeh povzroča draženje in vnetja dihal. Najbolj so izpostavljeni ljudje s kroničnimi boleznimi dihal in obtočil. Znaki izpostavljenosti ozonu se kažejo v kašlju in oteženem dihanju, pri astmatikih se poveča pogostnost napadov astme. Pogostejša izpostavljenost povečanim koncentracijam ozona lahko povzroča tudi trajnejše okvare dihal. Po zadnjih ocenah pripisujemo v Evropski uniji (EU-27) akutni izpostavljenosti ozona 24.000 prezgodnjih smrti letno (EEA, 2022²). V Sloveniji se v zadnjih letih število dni s preseženo povprečno osemurno ciljno vrednostjo (nad 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) giblje od približno 10 do 40, odvisno od okolja. Preseganja so najpogostejša na podeželju (Gjerek, 2021³).

Prizemni ozon povzroča tudi škode v kmetijstvu. V rastline vstopa skozi listne reže in povzroča poškodbe celic, ki se kažejo sprva v obliki svetlih pik (kloroze), ki kasneje preidejo v nekoliko večje in temnejše pege odmrlega tkiva (nekroze). Dvokaličnice, kot so metuljnice in krompir, so bolj občutljive na ozon kot enokaličnice (žita, koruza, trave). Zaradi povečanih koncentracij ozona se zmanjša obseg fotosinteze, kar zmanjšuje pridelke. Po grobih ocenah se lahko zaradi ozona pridelki kmetijskih rastlin zmanjšajo za približno 10 %. Zaradi poškodb se lahko zmanjša tudi tržna vrednost nekaterih kmetijskih pridelkov, npr. listnate zelenjave.

Učinek povečanih koncentracij prizemnega ozona na rejne živali je razmeroma slabo raziskan. V eni od študij, ki je obsegala analizo velikega števila poginov krav molznic v daljšem časovnem obdobju, se je izkazalo, da so bile povečane koncentracije ozona eden izmed dejavnikov, ki so vplivali na pogine živali.

¹ Za razliko od stratosferskega ozona, ki tvori ozonski plašč nekaj deset kilometrov nad površino zemlje in varuje življenje na zemlji pred ultravijolično svetlobo sonca, je prizemni ozon neželen.

² <https://www.eea.europa.eu/publications/air-quality-in-europe-2022/health-impacts-of-air-pollution>

³ <http://kazalci.arso.gov.si/sl/content/onesnazenost-zraka-z-ozonom>

OBVEZNOSTI SLOVENIJE NA PODROČJU IZPUSTOV NMVOC

Direktiva 2016/2284 Evropskega parlamenta in Sveta z dne 14. decembra 2016 o zmanjšanju nacionalnih emisij za nekatera onesnaževala zraka, spremembi Direktive 2003/35/ES in razveljavitvi Direktive 2001/81/ES (nova Direktiva NEC) določa, da bodo morali biti leta 2030 izpusti NMVOC-ov v Sloveniji najmanj 53 % manjši od izpustov v letu 2005. Ker v času določitve te obveznosti izpusti iz kmetijstva še niso bili vključeni v nacionalne evidence onesnaževal zraka, se pri preverjanju doseganja ciljne vrednosti izpusti iz kmetijstva ne bodo upoštevali. Ne glede na to je prav, da k zmanjšanju izpustov po svojih zmožnostih prispeva tudi kmetijstvo.

IZPUSTI PREDHODNIKOV OZONA V SLOVENIJI

Predhodniki ozona se v sposobnosti za tvorbo ozona med seboj razlikujejo. Za primerjalne namene njihov učinek preračunamo potencial za tvorbo prizemnega ozona (Tropospheric Ozone Forming Potential oz. TOPF), ki ga izrazimo v ekvivalentih NMVOC-ov. Pri preračunu uporabimo za NMVOC-e faktor 1, za NO_x faktor 1,22, za ogljikov oksid faktor 0,11 in za metan faktor 0,014. Pri NMVOC-ih gre za veliko število različnih snovi, ki se med seboj razlikujejo tudi v potencialu za tvorbo ozona. Metodika, ki jo trenutno uporabljamo za oceno izpustov NMVOC-ov ne omogoča kvantificiranja posameznih snovi, za to pri računanju potenciala za tvorbo ozona uporabljamo približek, ki velja za mešanico vseh NMVOC-ov.

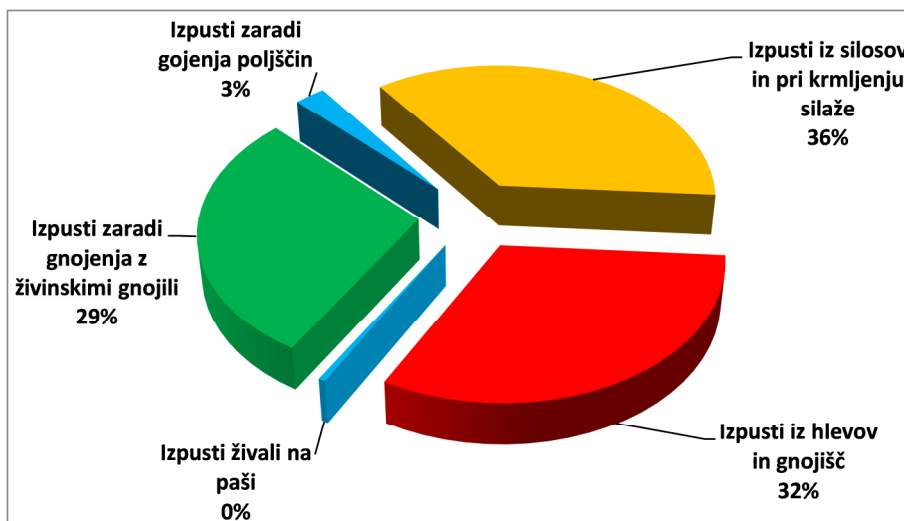
Preračunano v ekvivalente NMVOC-ov, so v Sloveniji med predhodniki ozona najpomembnejši dušikovi oksidi (NO_x, 43 %) in ogljikov oksid (CO, 42 %). Sledijo NMVOC-i (13%) in metan (CH₄, 1%) (Logar, 2022⁴, podatki za vse sektorje v letu 2020). K izpustom predhodnikov ozona prispeva kmetijstvo metan, NMVOC-e in NO_x-e. Prispevek kmetijstva k skupnim izpustom teh plinov v Sloveniji je 61,9 % za metan, 19,5 % za NMVOC-e in 9,4 % za NO_x-e. Skupni prispevek kmetijstva k predhodnikom ozona (preračunano v ekvivalente NMVOC-ov) je 13,2 % (Logar, 2022⁴). V kmetijstvu prispevajo k nastajanju ozona največ prav NMVOC-i (62,6 %), sledijo NO_x-i (30,4 %) in metan (7,0 % od izpustov v kmetijstvu) (Verbič, 2022⁵).

KMETIJSKI VIRI NMVOC-OV

Izpusti NMVOC-ov vključujejo več sto različnih organskih spojin prijetnega ali neprijetnega vonja. Pomen kmetijstva pri izpustih teh snovi še ni povsem dorečen, saj so kot glavni vir NMVOC-ov pogosto omenjeni gozdovi, z opustitvijo kmetovanja pa bi se izpusti iz gozdov povečali. Tudi metodika za oceno izpustov je precej groba, emisijski faktorji pa precej nezanesljivi. Tako v kmetijstvu, kot tudi nasploh, evidence ne zajemajo vseh virov. Po ocenah za Slovenijo je v letu 2021 največ NMVOC-ov v kmetijstvu prispevalo krmljenje silaže (36 %), sledili so izpusti iz hlevov in gnojišč (32 %) in izpusti pri gnojenju z živinskimi gnojili (29 %) (slika 1). V obdobju 1990–2021 so se izpusti NMVOC-ov v kmetijstvu zmanjšali za 8,3 %⁵. Zmanjšali so se izpusti iz hlevov in gnojišč, pri gnojenju z živinskimi gnojili in pri gojenju poljščin, povečali pa izpusti zaradi krmljenja silaže in na paši.

⁴ <http://kazalci.arso.gov.si/sl/content/izpusti-predhodnikov-ozona-12>

⁵ Evidence emisij toplogrednih plinov in onesnaževal zraka v kmetijstvu, Kmetijski inštitut Slovenije, 2022



Slika 1: Struktura izpustov NMVOC-ov v slovenskem kmetijstvu v letu 2021 (Verbič, 2022⁶). Podatki se zaradi posodobitve metodike nekoliko razlikujejo od podatkov, ki jih je Slovenija za leto 2020 v letu 2022 poročala Konvenciji o onesnaževanju zraka na velike razdalje preko meja in EU⁷.

IZPUSTI NMVOC-OV PRI GOJENJU KMETIJSKIH RASTLIN

Kmetijske rastline sproščajo v okolje različne hlapne organske spojine. V glavnem gre za spojine prijetnega vonja. Raziskovalcem je uspelo identificirati več deset tovrstnih spojin, med njimi je približno deset takih, za katere je mogoče določiti tudi koncentracije v zraku. Gre za spojine, ki jih uvrščamo med alkene, monoterpene, seskviterpene, alkohole, aldehide, ketone, etre, estre sulfide in furane. Te spojine imajo različne vloge, od tega da regulirajo rast in zorenje rastlin in da privabljajo opraševalce do odvratanja rastlinojedih živali in škodljivcev.

Velja prepričanje, da se v gozdovih sprosti bistveno več NMVOC-ov kot na kmetijskih zemljiščih, čeprav nekatere novejšje študije kažejo, da razlike niso tako velike, saj so bile v starejših študijah nekatere spojine zanemarjene. Nekateri izmed najpogosteje identificiranih NMVOC-ov, ki se sprostijo iz rastlin, so izopren, 2-metil-3-buten-2-ol, etilen, α in β pinen, terpinen, limonen, heksanol, oktanol, metanol in heksanal. Te spojine se razlikujejo v potencialu za fotokemično nastajanje ozona, ki ga izražamo v primerjavi z etilenom. Če ima etilen vrednost 100, je potencial za fotokemično nastajanje ozona pri izoprenu 114, pri α pinenu 68 in pri β pinenu 33 (Derwent in sod., 2007⁸). Ob številnih predpostavkah je bilo ocenjeno, da se pri pridelovanju poljščin v povprečju sprosti 0,86 kg NMVOC-ov na ha na leto (EMEP/EEA⁹). Poljščine se v sproščanju NMVOC-ov med seboj razlikujejo, razpon se giblje od približno 0,3 do 2 kg na ha na leto. Na sproščanje NMVOC-ov vplivajo tudi drugi dejavniki, predvsem temperatura okolja, pa tudi osvetlitev, razvojna faza rastlin in morebitno pomanjkanje vode.

⁶ Evidence emisij toplogrednih plinov in onesnaževal zraka v kmetijstvu, Kmetijski inštitut Slovenije, 2022

⁷ Logar, M., Mekinda Majaron, T., Verbič, J., Pečnik, Ž. Slovenian informative inventory report 2022: Submission under the UNECE convention on long-range transboundary air pollution and directive (EU) 2016/2284 on the reduction of national emissions of certain atmospheric pollutants. Ljubljana: Slovenian Environment Agency, 2022. https://cdr.eionet.europa.eu/si/un/clrtap/iir/envyioula/iir_2022_Slovenia_SI.pdf.

⁸ Derwent, R.G., Jenkin, M.E., Passant, N.R., Pilling, M.J. Reactivity-based strategies for photochemical ozone control in Europe. Environmental Science & Policy, 2007,10, 445-453

⁹ EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019, EEA Report No. 13/2019



Slika 2: Z njiv in trajnih travnikov se sprosti precej NMVOC-ov. Čeprav gre v glavnem za spojine prijetnega vonja, je njihov učinek z vidika tvorbe prizemnega ozona neugoden.

Z rastlinsko pridelavo so povezani tudi drugi izpusti NMVOC-ov, ki nastanejo zaradi rabe fosilnih goriv, sredstev za varstvo rastlin in zaradi požiganja žetvenih ostankov. Teh izpustov formalno ne poročamo v sklopu kmetijstva, kmetijstvo pa lahko kljub temu prispeva k njihovem zmanjšanju.



Slika 3: Pri sežiganju žetvenih ostankov se sprosti 2 do 10 krat več NMVOC-ov kot med rastjo žit.

Možnosti za zmanjšanje izpustov NMVOC-ov pri gojenju kmetijskih rastlin so zelo omejene. Za razliko od amonijaka in prašnih delcev, v domači in tuji strokovni literaturi ne najdemo jasnih navodil za zmanjšanje izpustov. Ob razmeroma skromnih informacijah zaključujemo naslednje:

- Možnosti za zmanjšanje izpustov z izborom vrst kmetijskih rastlin z majhnimi izpusti so zanemarljive. Podatki o izpustih pri različnih poljščinah, vrtninah in sadnih rastlinah so nezanesljivi. Tudi če bi imeli ustrezne informacije, bi bil manevrski prostor majhen, saj izbor vrst narekujejo pridelovalne razmere, potrebe, organiziranost trga in zahteve dobre kmetijske prakse (npr. kolobarjenje).

- Pri visokih temperaturah se izpusti NMVOC-ov zelo povečajo. Možnosti za hlajenje okolice pri pridelovanju poljščin in vrtnin skorajda ni, razen pri pridelovanju v rastlinjakih (senčenje).
- Največ NMVOC-ov se sprošča v okolje ob cvetenju rastlin. Z izjemo travinja, poteka spravilo/žetev praviloma po cvetenju in se zaradi tega tem izpustom ne moremo izogniti. Z vidika izpustov NMVOC-ov in z vidika krmne vrednosti silaže in/ali sena je travnike smiselno pokositi še pred cvetenjem travniških rastlin, razen če gre za ohranjanje biotsko pestrih travnikov.
- Na izpuste NMVOC-ov zelo vplivajo poškodbe rastlin, ki povečujejo tako produkcijo kot tudi sproščanje hlapnih snovi. Zaradi poškodb rastlin se lahko izpusti povečajo tudi do 100 krat. Na travinju so izpusti največji po košnji, t.j. med venenjem oz. sušenjem krme na travnikih ali sušilnicah. Sklepamo lahko, da so izpusti pri pripravi silaže manjši kot pri pripravi sena. Se pa v primeru siliranja srečamo z izpusti produktov fermentacije iz površine odkrite silaže pri odvzemu iz silosa in iz jasli (obravnavano v posebnem poglavju).
- Z vidika izpustov NMVOC-ov je smiselno biomaso, ki jo pridelamo z ozelenitvijo strnišč, neposredno zadelati v tla (brez predhodnega mulčenja).
- Veliko NMVOC-ov se sprostijo pri sežiganju žetvenih ostankov in druge biomase. Pri sežiganju žitnih slam se tako sprostijo 2 do 10 krat več NMVOC-ov kot med rastjo žit. Žetvenih ostankov in druge kmetijske biomase ne sežigamo, razen če gre za sanitaren ukrep.

IZPUSTI NMVOC-OV IZ HLEVOV, GNOJIŠČ IN NA PAŠI

Pomemben vir NMVOC-ov so izločki (blato in seč) rejnih živali. Sproščajo se iz onesnaženih hlevskih površin, iz onesnaženih živali, iz kanalov za gnojevko in gnojnico in iz skladišč za živinska gnojila, ki so lahko pod rešetkami v hlevu ali pa v pokritih ali odkritih jamah/lagunah na prostem. NMVOC-e najdemo v izdihanem in izriganem zraku rejnih živali. Za razliko od NMVOC-ov, ki se sprostijo pri gojenju kmetijskih rastlin, so NMVOC-i iz živinoreje praviloma neprijetnega vonja. Raziskovalci so v hlevih identificirali več sto različnih hlapnih snovi. Gre predvsem za različne alkohole, aldehide, kisline, sulfide, fenole in indole. V znatnih koncentracijah se v hlevskem zraku pogosto nahajajo očetna kislina, izopropanol, diacetil, dimetil sulfid, etanol, metanol, maslena kislina, p-krezol, indol in drugi. Nekatere od omenjenih snovi izvirajo tudi iz krme (predvsem silaže), ki jo v tem besedilu obravnavamo posebej. Ocene izpustov NMVOC-ov iz hlevov, gnojišč in na paši so zelo nezanesljive, saj na podlagi maloštevilnih študij ni mogoče ovrednotiti nekaterih pomembnih vplivnih dejavnikov, kot je temperatura v hlevu. Še težje in manj zanesljivo je ocenjevanje učinka teh spojin na prizemni ozon. Nekatere spojine, ki se v večjem obsegu sproščajo iz hlevov, imajo v primerjavi z etilenom (vrednost 100) razmeroma majhen potencial za fotokemično nastajanje ozona (izopropanol 18, očetna kislina 9, etanol 34, metanol 13) (Derwent in sod., 2007¹⁰).

Izpusti NMVOC-ov so povezani s količino zaužite krme. Odvisni so tudi od načinov reje in skladiščenja živinskih gnojil. Na podlagi dostopnih informacij je bilo ocenjeno, da se je pri reji ene molznice v Sloveniji v letu 2020 iz hlevov in gnojišč sprostilo 5,6 kg NMVOC-ov (podatek za hlevsko rejo, Verbič, 2022¹¹).

¹⁰ Derwent, R.G., Jenkin, M.E., Passant, N.R., Pilling, M.J. Reactivity-based strategies for photochemical ozone control in Europe. *Environmental Science & Policy*, 2007,10, 445-453

¹¹ Evidence emisij toplogrednih plinov in onesnaževal zraka v kmetijstvu, Kmetijski inštitut Slovenije, 2022

Na podlagi lastnosti NMVOC-ov in na podlagi znanih dejavnikov, ki vplivajo na njihovo nastajanje in sproščanje v okolje, smo identificirali naslednje možnosti za zmanjšanje izpustov.

- Med NMVOC-e uvrščamo številne razgradne produkte aminokislin. Izpuste teh snovi zmanjšamo tako, da količino beljakovin v krmnem obroku prilagodimo potrebam živali, v primeru prežvekovalcev tudi potrebam vampovih mikroorganizmov. Pri načrtovanju krmnih obrokov za prežvekovalce moramo upoštevati bilanco dušika v vampu, pri prašičih in perutnini pa aminokislinsko sestavo beljakovin v krmi. Z namenom izboljšanja izkoriščanja beljakovin je treba pri prašičih v pitanju izvajati fazno krmljenje (t.j. starosti, telesni masi in genotipu prilagojeno krmljenje).
- Izpuste NMVOC-ov lahko zmanjšamo z vzdrževanjem čistoče v hlevih. S sečem in blatom onesnažene površine naj bodo čim manjše. Z izjemo površin, ki so namenjene uriniranju in blatenju, naj bodo ležišča in pohodne površine hleva suhe.
- Izpuste NMVOC-ov iz hlevov lahko zmanjšamo s posebnimi talnimi oblogami s poroznim zgornjim slojem, ki ločujejo blato in seč. Mešanje blata in seča na pohodnih površinah je mogoče zmanjšati tudi z zobatimi strgali na žlebičastih tleh, pri katerih se seč steka v žlebove in ga zobata strgala ob odgnojevanju potisnejo v jamo za gnojevko.
- V rejah s hlevskim gnojem ali na globokem nastilu lahko izhlapevanje NMVOC-ov uspešno zmanjšamo s povečano količino stelje.
- Z ustrezno oblikovanimi kanali za gnojevko (npr. kanali oblike V ali kanali okroglega preseka z režo na vrhu) zmanjšamo površino gnojevke iz katere hlapijo NMVOC-i.
- Izhlapevanje NMVOC-ov v hlevih lahko zmanjšamo z vzdrževanjem ustrezno nizke temperature. To dosežemo z dobro izvedbo naravnega ali aktivnega zračenja.
- V večjih hlevih z aktivnim zračenjem je mogoče izpuste NMVOC-ov zmanjšati s čiščenjem izhodnega zraka z biofiltri.
- Živinska gnojila je treba sproti odstranjevati iz hlevov, v hlevih s strgali za čiščenje pohodnih površin najmanj šestkrat dnevno.
- Gnojevko in gnojnico skladiščimo v pokritih jamah ali v lagunah, ki so pokrite s plavajočimi elementi ali ponjavami.
- Hlevski gnoj skladiščimo v kupih, ki morajo biti oblikovani tako, da je izhlapevanju NMVOC-ov izpostavljena čim manjša površina gnoja.
- Z vidika izpustov NMVOC-ov je ugodna pašna reja, pri kateri so izpusti približno petkrat manjši kot pri hlevski reji.



Slika 4: V hlevih s prosto rejo so največji vir NMVOC-ov pohodne površine, na katerih pride do mešanja blata in seča. Izpuste bi lahko zmanjšali z žlebičastimi tlemi in zobatimi strgali, pri katerih se seč steka v žlebove, ki jih zobata strgala ob odgnojevanju počistijo.

Več o možnostih za zmanjšanje izhlapevanja hlapnih snovi iz hlevov in gnojišč je napisano v Svetovalnem kodeksu dobrih kmetijskih praks za zmanjševanje izpustov amonijaka (Verbič, 2020¹²).

IZPUSTI NMVOC-OV IZ SILOSOV IN PRI KRMLJENJU SILAŽE

Silaža vsebuje številne hlapne produkte vrenja. Med njimi so po vrstnem redu najpomembnejši očetna kislina, etanol in maslena kislina. V manjših koncentracijah najdemo v silažah tudi nekatere druge organske kisline in alkohole, pa tudi estre, ketone in aldehide. Učinek teh produktov vrenja na prizemni ozon pa ni odvisen le od njihovih koncentracij v silaži, ampak tudi od njihove hlapnosti in potenciala za fotokemično nastajanje ozona, ki je pri etanolu skoraj štirikrat večji kot pri očetni kislini¹³. Kljub temu, da vsebujejo silaže običajno približno dvakrat več očetne kisline kot etanola, je prispevek etanola iz silaž k tvorbi prizemnega ozona znatno večji od prispevka očetne kisline (Hafner in sod., 2013¹⁴).

Na podlagi razširjenosti in praks siliranja v Sloveniji ocenjujemo da se iz silosov in pri krmljenju silaž sprosti 7,8 kg NMVOC-ov na molznico na leto (ocena za 2020, Verbič, 2022¹⁵). To presega skupne izpuste pri pridelovanju krme ter iz hlevov in gnojišč.

Od vseh hlapnih organskih spojin v silaži prispevata k izpustom NMVOC-ov največ etanol in očetna kislina. Pri siliranju gre za mikrobiološki proces, zaradi katerega se krma zakisa in je s tem zaščiten pred kvarjenjem. Z vidika izgub energije in razgradnje beljakovin med siliranjem, z vidika sprejemljivosti silaž za rejne živali in z vidika krmne vrednosti silaž želimo mlečnokislinsko vrenje, katerega produkt je mlečna kislina. Mlečna kislina je pri sobni temperaturi nehlapna in ne prispeva k izpustom NMVOC-ov. Kmetje se zavedajo pomena kakovosti silaž. Pri travnih silažah spodbudijo mlečnokislinsko vrenje z venenjem krme pred

¹² Verbič, J. Svetovalni kodeks dobrih kmetijskih praks za zmanjševanje izpustov amonijaka. Kmetijski inštitut Slovenije, 2020, 28 s. https://www.kis.si/f/docs/Druge_publicacije/Izpusti_amonijaka_2020_publ_e_cela_koncna.pdf

¹³ Derwent, R.G., Jenkin, M.E., Passant, N.R., Pilling, M.J. Reactivity-based strategies for photochemical ozone control in Europe. *Environmental Science & Policy*, 2007, 10, 445-453

¹⁴ Hafner, S. D., Howard, C., Muck, R.E., Franco, R.B., Montes, F., Green, P. G., Mitloehner, F., Traube, S.L., Rotz, C.A. Emission of volatile organic compounds from silage: Compounds, sources, and implications. *Atmospheric Environment*, 2022, 77, 827-839

¹⁵ Evidence emisij toplogrednih plinov in onesnaževal zraka v kmetijstvu, Kmetijski inštitut Slovenije, 2022

siliranjem, pri koruznih silažah pa s siliranjem ob primerni zrelosti koruze. Za spodbujanje mlečnokislinskega vrenja uporabljajo tudi industrijsko pripravljene dodatke homofermentativnih mlečnokislinskih bakterij. Vse te prakse omejujejo delovanje enterobakterij, ki so najpomembnejše proizvajalke očetne kisline. Prizadevanja za izboljšanje kakovosti silaž pa na drugi strani prispevajo k povečanju nepovretil sladkorjev v silažah. Ti so hrana za kvasovke, ki proizvajajo etanol. Sklenemo lahko, da dobre prakse siliranja ne prispevajo k zmanjšanju izpustov NMVOC-ov, saj se v silažah, ob sicer zmanjšanih vsebnostih očetne kisline, povečajo vsebnosti etanola.

Z namenom izboljšanja obstojnosti silaž na zraku se lahko pri siliranju uporablja tudi silirne dodatke na osnovi heterofermentativnih mlečnokislinskih bakterij vrste *Lactobacillus buchneri*. Te mlečnokislinske bakterije prevrevajo mlečno kislino v očetno kislino in 1,2 propandiol. To je z vidika izpustov NMVOC-ov neugodno. Manj znano je, da ti isti dodatki zmanjšujejo vsebnost etanola v silaži, kar je z vidika izpustov ugodno. Sklenemo lahko, da silirni dodatki na osnovi bakterij *Lactobacillus buchneri*, kljub povečanju vsebnosti očetne kisline, ne vplivajo na vsebnosti NMVOC-ov v silaži.



Slika 5: Odvzem silaže iz silosa mora biti urejen tako, da ostane površina silaže nezrahljana.

Do izpustov NMVOC-ov prihaja na mestu odvzema silaže iz silosa, ko silažo izpostavimo okoliškemu zraku. Zaradi izpostavljenosti kisiku lahko prihaja v tem obdobju do kvarjenja, ki se med drugim kaže v povečanju temperature silaže (tudi do 10 °C in več nad temperaturo okolice). To kvarjenje povzročajo predvsem kvasovke in očetnokislinske bakterije. Kvasovke v aerobnih razmerah za svojo rast porabljajo tudi energijo očetne kisline in etanola, katerih koncentracije se pri tem zmanjšajo. To je z vidika izpustov NMVOC-ov ugodno. V tem pogledu je ugodno tudi delovanje očetnokislinskih bakterij, ki zelo hlapen in reaktiven etanol oksidirajo v manj hlapno in manj reaktivno očetno kislino. Kljub navedenemu pa ne moremo trditi, da se zaradi kvarjenja silaž na zraku izpusti NMVOC-ov zmanjšajo, saj se zaradi povečane temperature izhlapevanje hlapnih snovi iz silaže poveča. Ocenjujemo, da je učinek povečanih temperatur, ki se nadaljujejo še med pripravo enolončnic v mešalnih vozovih in na krmilni mizi, večji kot pozitiven učinek zmanjšanih koncentracij očetne kisline in etanola v silaži.

Sklenemo lahko, da so možnosti za zmanjšanje izpustov NMVOC-ov prek vplivanja na vsebnost hlapnih sestavin silaže majhne. Obstajajo predvsem nekatere tehnične rešitve, ki so navedene v nadaljevanju:

- Silažo moramo odzemat iz silosa tako, da ostane silaža na mestu odvzema nezrahljana, površina silaže pa kolikor je mogoče gladka. Dnevni odzem silaže mora biti dovolj velik, da ne pride do kvarjenja (segrevanja) silaže (za silaže, ki so dovzetne za kvarjenje najmanj 20 cm pozimi in 35 cm poleti).
- Silažo odzemat iz silosa sproti, kolikor jo pokrmimo v enem dnevu. Mešane obroke (enolončnice) pripravljamo sproti, po možnosti dvakrat dnevno.
- Silažo in enolončnice s silažo porazdelimo po krmilni mizi/jaslih tako, da je izhlapevanju izpostavljena čim manjša površina.
- Ostanke krme pospravljamo iz jaslji sproti in jih odlagamo tako, da je izhlapevanju NMVOC-ov izpostavljena čim manjša površina.



Slika 6: Izpusti NMVOC-ov pri krmljenju silaže presegajo izpuste iz silosov. Silažo mora biti porazdeljena po krmilni mizi tako, da je izhlapevanju izpostavljena čim manjša površina.

IZPUSTI NMVOC-OV PRI GNOJENJU KMETIJSKIH RASTLIN Z ŽIVINSKIMI GNOJILI

Pri gnojenju živalska gnojila enakomerno porazdelimo po kmetijskih zemljiščih. Pri tem izpostavimo izhlapevanju veliko površino, še posebej če za gnojenje z gnojevko uporabljamo cisterne z razpršilno ploščo. Ocenjeno je bilo, da se v Sloveniji pri gnojenju z gnojem, gnojnico in gnojevko krav molznic v ozračje sprosti 7,3 kg NMVOC-ov na kravo letno (ocena za 2020, Verbič, 2022¹⁶).

¹⁶ Evidence emisij toplogrednih plinov in onesnaževal zraka v kmetijstvu, Kmetijski inštitut Slovenije, 2022



Slika 7: Največji izpusti NMVOC-ov so značilni za gnojenje z razpršilno ploščo. Do izpustov prihaja ob gnojenju, ko razpršena gnojevka potuje skozi zrak. Do obsežnega izhlapevanja NMVOC-ov prihaja pri tem načinu gnojenja tudi iz pognojnih zemljišč, saj so kapljice gnojevke enakomerno porazdeljene po veliki površini.

Raziskovalci so ugotovili, da so izpusti NMVOC-ov povezani z izpusti amonijaka in predpostavimo lahko, da je mogoče izpuste zmanjšati z enakimi tehnikami gnojenja kot veljajo za amonijak. Te so naslednje:

- Zadelovanje živinskih gnojil v tla: živinska gnojila čim prej, po možnosti takoj po gnojenju, zadelamo v tla. Najučinkovitejše je zadelovanje z oranjem, lahko pa uporabimo tudi druge načine obdelave tal (brez obračanja zemlje). Tehnika je izvedljiva le na njivah.
- Redčenje gnojevke: Gnojevko pred razvažanjem razredčimo z vodo, tako da vsebuje 6 % sušine ali manj. Razredčena gnojevka se hitreje vpije v tla, s tem pa se zmanjša izhlapevanje NMVOC-ov. Hitrejše vpijanje gnojevke v tla je mogoče doseči tudi s separacijo gnojevke, pri čemer del trdnih snovi izločimo. Tehnika gnojenja z razredčeno gnojevko je izvedljiva na vseh zemljiščih, ki jih gnojimo.
- Gnojenje v pasovih: Za gnojenje uporabljamo opremo, ki gnojevko ali gnojnico odlaga v pasovih blizu tal ali na tla. S tem se površina gnojevke/gnojnice iz katere hlapijo NMVOC-i zmanjša, v primerjavi z gnojenjem z razpršilno ploščo pa se zmanjša tudi izhlapevanje v času gnojenja. Gre za cisterne z vlečenimi cevmi ali vlečenimi sanmi. Tehnika je izvedljiva tako na travnikih kot na njivah, s tem da se vlečene sani uporabljajo predvsem na travinju.
- Vbrizgavanje tekočih živinskih gnojil v tla: Za gnojenje uporabljamo opremo, ki tekoča živinska gnojila vbrizga (injektira) v tla. Razlikujemo plitvo (4-6 cm) in globoko (12-30 cm) vbrizgavanje. Plitvo vbrizgavanje je izvedljivo tako na travnikih kot na njivah, globoko pa le na njivah. Vbrizgavanje v tla otežujejo ali celo onemogočajo razgiban teren, skalovita tla, nagnjen teren, parcele nepravilnih oblik pa tudi zelo majhne parcele.



Slika 8: Pri gnojenju z vlečenimi cevmi zmanjšamo površino gnojevke, iz katere izhlapevajo NMVOC-i.



Slika 9: Nekateri kmetje pred gnojenjem gnojevko separirajo. Pri tem dobijo trdni del (separat), ki vsebuje relativno malo NMVOC in redko gnojevko, ki se pri gnojenju hitro vpije v tla. Z vidika izpustov NMVOC je to ugodno.

Več o možnostih za zmanjšanje izhlapevanja snovi pri gnojenju z živinskimi gnojili je napisano v Svetovalnem kodeksu dobrih kmetijskih praks za zmanjševanje izpustov amonijaka (Verbič, 2020¹⁷).

¹⁷ Verbič, J. Svetovalni kodeks dobrih kmetijskih praks za zmanjševanje izpustov amonijaka. Kmetijski inštitut Slovenije, 2020, 28 s. https://www.kis.si/f/docs/Druge_publicacije/Izpusti_amonijaka_2020_publ_e_cela_koncna.pdf

PREGLED PRIPOROČIL ZA ZMANJŠANJE IZPUSTOV NMVOC-OV V KMETIJSTVU

Pomembnejša priporočila za zmanjšanje izpustov NMVOC-ov v kmetijstvu so zbrana v preglednici 1.

Preglednica 1: Pregled priporočil za zmanjšanje izpustov NMVOC-ov pri gojenju kmetijskih rastlin, iz hlevov in gnojišč, iz silosov, pri krmljenju silaže in pri gnojenju z živinskimi gnojili.

Vir izpustov	Tehnika za zmanjšanje izpustov
Gojenje kmetijskih rastlin	<ul style="list-style-type: none"> – zgodnja košnja travnikov – neposredna zadelava rastlin za podor (brez predhodnega mulčenja) – opustitev sežiganja žetvenih ostankov
Hlevi in gnojišča	<ul style="list-style-type: none"> – izogibamo se presežkom beljakovin v krmnih obrokih – vzdrževanje čistoče v hlevih in zmanjšanje s sečem in blatom onesnažene površine – vzdrževanje nizke temperature v hlevih – posebej oblikovane pohodne površine, ki omogočajo ločevanje blata in seča (npr. porozne talne obloge ali žlebičasta tla z zobatimi strgali) – zmanjšanje površine gnojevke z ustrezno oblikovanimi kanali za odvajanje gnojevke – povečana količina stelje v hlevih s hlevskim gnojem ali pri reji na globokem nastilu – sprotno odstranjevanje izločkov živali iz hlevov – čiščenje hlevskega zraka z biofiltri – skladiščenje gnojevke in gnojnice v pokritih skladiščih – oblikovanje kupov hlevskega gnoja s čim manjšo površino
Silos	<ul style="list-style-type: none"> – vzdrževanje čim bolj gladke površine silaže pri odvzemu iz silosa – sprotno odzemanje silaže iz silosa (dnevna količina) – dnevni odzem silaže mora biti dovolj velik (s tem preprečujemo kvarjenje (segrevanje) silaže)
Krmljenje silaže	<ul style="list-style-type: none"> – mešane obroke (enolončnice) pripravljamo sproti, po možnosti dvakrat dnevno – silažo in enolončnice s silažo porazdelimo po krmilni mizi/jaslih tako, da je izhlapevanju izpostavljena čim manjša površina – ostanke krme pospravljamo iz jasli sproti in jih odlagamo tako, da je izhlapevanju NMVOC-ov izpostavljena čim manjša površina
Gnojenje kmetijskih rastlin z živinskimi gnojili	<ul style="list-style-type: none"> – živinska gnojila čim prej po gnojenju zadelamo v tla – gosto gnojevko pred gnojenjem redčimo ali separiramo – za gnojenje z gnojevko ali gnojnico uporabljamo opremo z majhnimi izpusti amonijaka in drugih hlapnih snovi v zrak (vlečene cevi, vlečene sani, oprema za vbrizgavanje gnojevke v tla)