



Nagy Rudolf

AZ ANYAGI MINŐSÉG SZEREPE EGYES ÁLLATI TAKARMÁNYOK ÖNGYULLADÁSI FOLYAMATAIBAN

Absztrakt

Az öngyulladások kérdéskörének áttekintését, még szakmai körökben is gyakorta elintézik azzal, hogy sablonosan átfutnak a gyakorlatban megmutatkozó jelenségek általánosan ismert megnyilvánulásain. Egyfelől ez könnyen érthető, hisz a sablonosan vett tűzkeletkezési folyamatok megszokott és könnyen azonosítható mechanizmusától eltérően, egy jóval összetettebb és a természettudományos ismeretek még mélyebbre hatóbb feltárásával láthatunk csak bele ezen termikus folyamatok valódi mibenlétébe.

Az azonban már egyértelműbb és még a laikusok széles körben is ismert összetevője ezen termikus változásoknak, hogy mindezen hőtermelő folyamatok következtében a kölcsönhatásban résztvevő komponensek minőségi átalakuláson mennek keresztül. Az öngyulladások során azonban ennek közönséges megnyilvánulási formái, úgy mint égésnyomok, intenzív füst- és hőfejlődés, stb. többnyire csak jóval a folyamat kezdetét követően mutatkoznak meg. Az azonban, hogy az öngyulladások mechanizmusban felfedezhető ezen eltérések miként és milyen jellegzetességektől kísérve manifesztálódnak elsődlegesen az anyagi minőség eltéréseiben rejlenek. Ennek egyes részleteit világítja meg a jelen cikk szerzője állati takarmányok öngyulladásai jellemzőin keresztül.

Kulcsszavak: anyagi minőség, takarmány, termikus folyamat, öngyulladás, égés.



THE ROLE OF THE MATERIAL QUALITY ON SELF-IGNITION PROCESS OF ANIMAL FEED

Abstract

An overview of the issue of spontaneous inflammation, even in professional circles, is often done by traversing the well-known manifestations of phenomena in practice in a template. On the one hand, this is easy to understand, since, unlike the usual and easily identifiable mechanism of staged fire generation processes, we can only see into the true nature of these thermal processes by exploring a much more complex and in-depth knowledge of the natural sciences.

However, it is already a clearer and even widely known component of these thermal changes that, as a result of all these heat-generating processes, the components involved in the interaction undergo a qualitative transformation. However, during spontaneous combustion, common manifestations of this, such as burn marks, intense smoke and heat generation, etc. they usually appear only long after the process begins. However, the way in which these differences can be discovered in the mechanism of spontaneous inflammation and the accompanying characteristics are manifested primarily in the differences in material quality. Some details of this are illustrated by the author of this article through the self-ignition characteristics of animal feeds.

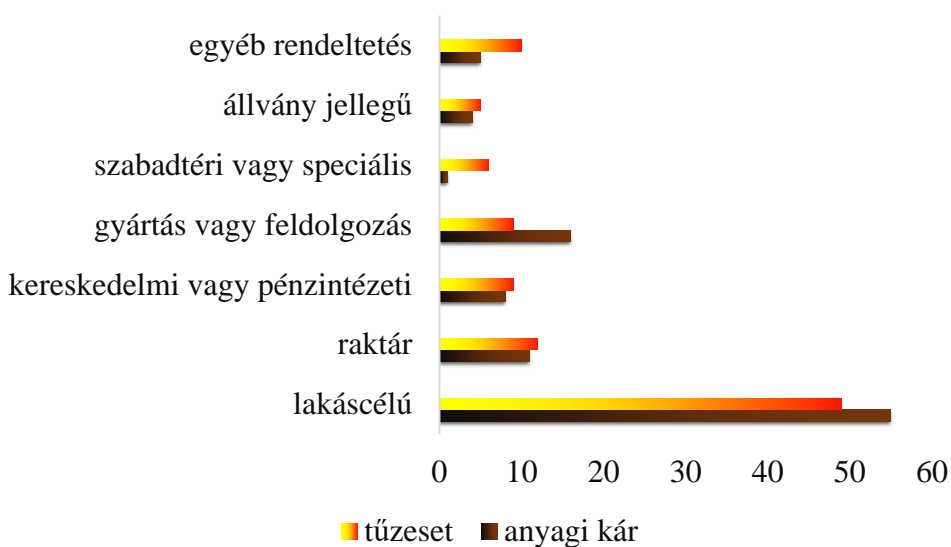
Keywords: material quality, feed, thermal process, self-ignition, combustion.



1. BEVEZETÉS

Az öngyulladás¹ kifejezést általánosan azon éghető anyagoknál fellépő jelenségére utalva használják, amelynek sáron az éghető anyagok egy lassú oxidációs folyamat következtében fellépő hőakkumuláció eredményeként tüzet² kiváltva meggyulladnak. A kölcsönhatás eredményeként makroszinten a hőtermelés üteme nem nevezhető jelentősnek, mégis megfelelő körülmények létrejötte esetén bekövetkezhet a spontán gyulladási hőmérséklet³ elérése és a láng és egyéb szokványos kísérő jelenségeket mutató égés⁴.

A tűzkár-statisztikák tekintetében több forrás is (ahogyan azt az 1. ábra is illusztrálja) arra utal, hogy az öngyulladás okozta tüzek jóval nagyobb arányban idéznek elő tetemes veszteséggel járó káreseteket.



1. ábra: Ingatlanhasználat során öngyulladásra vagy kémiai reakció visszavezethető tüzesetek megoszlása az USA-ban 2005–2009 között [5]

¹ A lexikon megfogalmazásában „az öngyulladás, az éghető szilárd anyagokban egyre gyorsulva lezajló exoterm reakciók következtében fellépő önmelegedés által kiváltott égés.” [1]

² Bármely pusztító és ellenőrizetlen égés, beleértve a robbanásokat is. [2]

³ Az a legalacsonyabb hőmérséklet, amelyenél egy gyúlékony anyagban az exoterm reakció hirtelen felgyorsul, és átmeny lánggal való égésbe. [3]

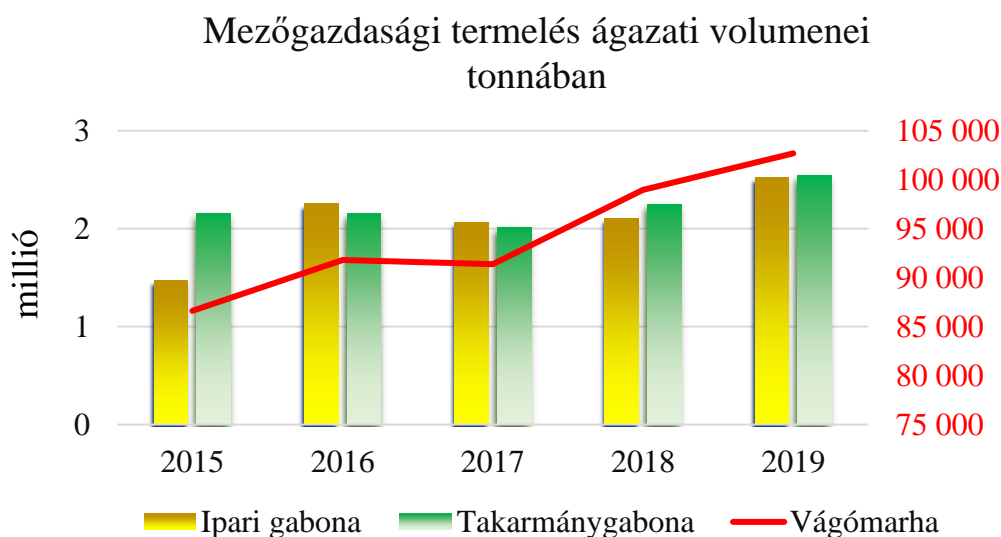
⁴ Az a folyamat, amelyet hő- és tűz keletkezése jellemez, és amelyet általában füst, láng vagy izzás vagy ezek kombinációja kísér. [4]



Bár meg kell jegyezni, hogy gyakorta az „ok ismeretlen” eredménnyel záruló tűzvizsgálat eljárások között is valószínűleg nem egy esetben akadnak hasonló eredetre visszavezethető tüzesetek. Azonban az ilyen esetek jelentős részében az öngyulladás ténye vélhetően az azonosítást lehetővé tevő bizonyítékok tűz során történő megsemmisülése miatt nem nyer bizonyítást. [6]

Az 1. ábra tanúsága szerint az egymással szorosan összefüggő másik két területe az öngyulladás jelenségének a gyártás, feldolgozás és raktározás, melyekre érdemes figyelmet szentelni.

Különösen igaz ez a növekvő nagyüzemi vágómarha előállításához kapcsolódó takarmánygabona mezőgazdaságban történő termesztése volumenének növekedése fényében, ahogyan az a 2. ábra is látható.



2. ábra: Vágómarha előállításához kapcsolódó gabonatermesztés volumenének változása 2015–2019 között [7]

A diagrammok tanulmányozása kapcsán felmerülhet a kérdés, hogy mi indokolja a az ipari gabona termésmennyiségének szerepeltetését az adatsorok között. Ennek háttérében elsődlegesen az ipari, és elsősorban a bioetanol előállítása céljából termelt kukorica feldolgozásának melléktermékeként visszamaradó szeszipari moslék másodlagos feldolgozásával nyert különféle komponenseinek takarmányként való hasznosítása húzódik meg. Ezt az értékes állati takarmány többféle formában köztük pelletként szarvasmarhafélék takarmányozásra is értékesítik. [8]



A takarmány egész évi ellátást biztosító mennyiségének előállítása a gabona természetes vegetációs időszakában történik. A jövőbeli felhasználásra szánt nagy volumenben megtermelt takarmányt jelentős tárolókapacitású silókban helyezik el. Az elhúzó ütemű felhasználás miatti hosszú idejű tárolás azonban jelentősen növeli az öngyulladás veszélyét is. [9]

A 2. ábrán fentebb bemutatott adatokra támaszkodva kijelenthető, hogy mind az abszolút értékben vett mennyiségi mutatók, mind pedig a tendenciák alakulása tűzvédelmi oldalról is megkövetelik a megelőzési stratégiák hatékonyságának növelését az érintett ágazati szereplők üzemviteli és ellátásbiztonságának kialakításában.

2. A SPONTÁN ÖNMELEGEDÉS ÉS ÖNGYULLADÁS

A vizsgálatokkal meghatározható fizikai paraméterek alapján eldönthető, hogy adott anyag esetében miként válasszuk meg azokat az önmelegedés elkerülése érdekében. Mindazonáltal jól érzékelhetően tűzbiztonság oldaláról nézve a kérdésfelvetésben elsődleges az éghető anyag maga, és annak is anyagi minősége.

Az általános anyagi jellemzők egyes megnyilvánulásai egyértelműen körül határolják azon éghető anyagok csoportját, amelyeknél felvetődhet az önmelegedés bekövetkezésének eshetősége. Tűzveszélyességüket tekintve is kitüntetett helyre sorolandók az úgynevezett önreaktív anyagok, köztük is a szerves peroxidok⁵, hisz ezek esetében kémiai szempontból nemcsak, hogy a körülmények kedvező együtt állása nem szükséges, de még a hőtermelés beindulását kiváltó reakciópartner sem kell a folyamat lezajlásához. Ezt ugyanis önön maguk szolgáltatják saját kémiai szerkezetük átrendeződése révén. Az önmelegedést előidéző reakció mechanizmusnak alapja az exoterm bomlási reakció. Ez például ipari baleseteknél⁶ kritikus

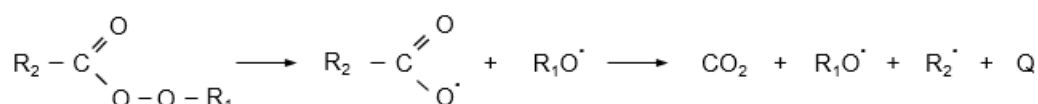
⁵ „A szerves peroxidok olyan vegyületek, amelyek molekuláiban szénatom és egy vagy több – O – O – peroxidkötés van.” [3]

⁶ 2000. július 28-án Japánban, egy Fukuoka Prefekturában található vegyi üzemben 100 kg edzésre használt szerves peroxidot szárazjéggel hűtött a tartályban tárolták egy raktárban. A nyári nagy melegben, a raktárban a szokottnál is magasabb hőmérséklet uralkodott. A szárazjég késedelmes pótlása következtében meginduló hőmérsékletemelkedett meghaladta az önbomlás kritikus hőmérsékletét (35 °C). Az exoterm bomlás következtében a műanyag edény 21:00 körül felrobbant és kigyulladt. [12]

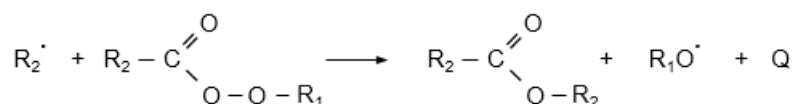


lehet. Az egyre gyorsuló forró, gáz halmazállapotú bomlástermékek képződése, párosulva a hőleadás rossz hatásfokával tüzet vagy hőrobbanást okozhat. [10]

Ennek az átalakulási folyamatnak általános példája a termikus homolízis, amely során erősen reaktív szabad gyökök keletkeznek. Az ilyen típusú molekulák lebomlása az (1) folyamat szerinti reakciómechanizmus mintájára megy végbe [11]:



A bomlástermékek, további bomlási folyamatokat (2) indukálnak: (1)



A reakció spontán lezajlásának oka a vegyületben megtalálható, az oxigén atomokat összetartó kötések instabilitására, ezáltal a kötés felhasadása és szerkezeti átrendeződésére⁷ vezethető vissza. [13]

Látszólag hasonló a helyzet más önmelegedésre hajlamos olyan anyagoknál is, amelyek öngyulladását nem látványos és heves kölcsönhatások eredményezte lassú oxidációs folyamatok előzik meg. A tüzet eredményező öngyulladások kiváltó okainak vizsgálata tekintetében elengedhetetlen a spontán gyulladás lehetőség magukban hordozó anyagok átfogó ismerete. Különösen fontos ez, olyan tényezők által fokozott veszélyek esetében, mint pl. a kültéri tárolóban közvetlen napsugárzásnak kitett termékek vagy a hőközlés segítségével gyártott, feldolgozott és ezért hőtartalmuk egy jelentős részét még megőrző és technikai állapotukban közvetlenül leürített sarzsok⁸ esetében, mint amilyenek például:

- meleg mosodai textíliák;
- forró friss forgácslap;
- forró, olajos textíliák és forgácsok,
- porózus élelmiszeripari termékek (instant tészta, sült halhulladék);
- kipréselt cukornád⁹ és rosttartalmú pogácsák, stb. [6]

⁷ A szerves peroxidokat a szerves vegyiparban széles körben használják iniciátorként polimerizációs reakciókban gyanták, műanyagok és elasztomerek gyártásához. [12]

⁸ jelentése: gyártási tétel (a szerző)

⁹ Az extrakció után a cukornádból származó maradék, általában 50% vizet tartalmaz. [6]



A fenti kategóriák között kitüntetett helyet foglalnak el a szerves anyagok, azonban ez önmagában messze nem elégséges feltétele az öngyulladás jelensége kialakulásának.

A kritikus feltételek teljesülésének többsége esetében egy sor egyéb paraméter kombinációját jelenti, amelyek az öngyulladási hajlamot kifejező Frank-Kamenetszkij (F_K) paraméter meghatározására szolgáló egyenlet is magában foglal:

ahol: F_K – Frank-Kamenyevckij paraméter, dimenzió nélküli szám,

E – aktiválási energia [J/mól],

Q – térfogategységben időegység alatt termelt hő [$J \times m^{-3} \times s^{-1}$],

r – minta mérete [m],

k_0 – preexponenciális tényező,

R – egyetemes gázállandó [$J \times mól^{-1} \times K^{-1}$],

λ – hővezetési tényező [$J \times m^{-1} \times s^{-1} \times K^{-1}$],

T_0 – környezeti hőmérséklet [K], [1]

Ezek közül a legfontosabbak a környezeti (környezeti) hőmérséklet és az anyaghalom fizikai kiterjedése és alakja. Ez utóbbi az olyan tárolásra szolgáló építmények esetében, mint például a takarmánysilók, könnyen leírható valamely szabályos geometriai idommal. [9]

Ennél még jelentősebb kritérium a kritikus hőmérsékletet, amely az öngyulladásra hajlamos anyag legfontosabb paramétereként befolyásolja az általában a környezeti hőmérsékleten felhalmozott mezőgazdasági anyagok termikus viselkedését. Tovább bonyolítja a helyzetet a már előzőekben említett, a technológia során pl. szárítás közben közölt hőmennyiség. Ez főként a gyulladás idő jelentős lerövidülése révén, amennyiben az anyag és környezete viszonylatában a megfelelő hőleadást akadályozó módon felhalmozva kerülnek tárolásra. [6]

Ilyenkor az éghető anyagok oxidációjának reakciója spontán felgyorsulhat és öngyulladásba csaphat át. Azonban az önmelegedő anyagok közül nem mindegyik alkalmas az égési folyamat beindítására. Így pl. a nedves gabona csírázásánál biológiai folyamat indul meg, amelynél a gabonaszemek bizonyos körülmények között 85 - 90 °C-ra felmelegsznek. Eközben a szemek



elszenesednek ugyan, azonban láng jelenséggel kísért égésre nem kerül sor, mert a gabona gyulladáspontja 90 °C felett van.

Ezzel szemben az anyagoknál, amelyek esetén az önmelegedés égésbe váltva tüzet okozhat általánosan a következő csoportokat különíthetjük el:

- növényi termények,
- fa és faszén,
- vas-szulfidok,
- fosszilis tüzelőanyagok,
- olajok és zsírok és
- egyéb vegyszerek. [13]

3. ANYAGI JELLEMZŐK EGYÉB RELEVÁNS ÖSSZETEVŐI

A fenti anyagoknál az öngyulladást különösen összetett kémiai, fizikai vagy biológiai folyamatok válthatják ki. A meghatározott feltételek között önmaguktól meggyulladó takarmánynövényekhez tartozik a széna, lóhere, stb. Természetszerűleg a biológiai folyamatok indukálta hőtermelés egyértelmű előfeltétele a még életképes sejtekben lezajló biokémiai folyamatokban fontos szerepet játszó megfelelő nedvességtartalom.

Azonban nem csak ehhez köthető az öngyulladás jelensége a növényi anyagoknál. Hisz nem egy örleménynél, mint például a szárított fűszernövények esetében jóval a növényi életfolyamatok igényelte nedvességtartalom alatti, légszáraz állapot mellett is bekövetkezhet öngyulladás, ahogyan azt a 2017. augusztusában a Nyugat-Yorkshire-i tüzeset is példázza.



1. kép: A raktárépületben tárolt növényi anyagok tűzének oltási munkálatai [14]

Ennek során a Gordon Rhodes és fia Ltd-nél, Bradfordban, 2017. augusztus 9-én este 22 óra 10 perckor egy örlemények, magok, gyógynövények és fűszerek tárolására szolgáló raktárban csaptak fel a lángok. A tűzvizsgálat szerint a tüzet öngyulladás okozta. [15]

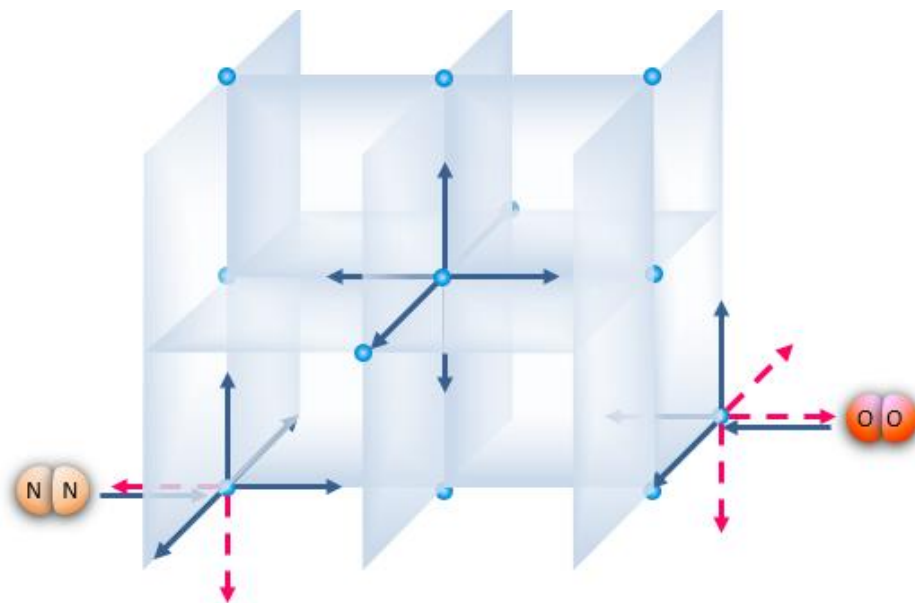
A növényi termények örleményei különösen hajlamosak az oxigén felületükön való megkötésére. Ez a jelenség részben hasonlatos a szénhalmokban lezajló oxigénmegkötés során felszabaduló adszorpciós hő okozta melegedés, majd az azt követő felületi autooxidáció miatt fokozódó hőtermelés jelenségéhez. A növényi anyag rossz hővezetőképessége következtében felhalmozódik a hő és az anyag kritikus hőmérséklet-emelkedéséhez vezet.

A megemelkedő hőmérséklet egyúttal a növényi termények termikus bomlását is előidézi. Némely növényi termék esetében ez kellően intenzív is lehet az esetlegesen jelenlévő, alacsony párolgás vagy szublimációs hővel rendelkező illóanyagok kipárolgásai miatt, mint például a fűszerek esetében. Hisz egyebek mellett ezek hordozzák azt az élvezeti értéküket, amelyek miatt ételízesítésre használjuk őket. Ezek a bomlástermékek elsődleges táplálói a fellobbanó tűznek.

A takarmánynövények technológiai feldolgozása során nyert részecskeméret is igen jelentős kihatással van az égési folyamatban igen fontos szerepet játszó gyulladási időre a szilárd éghető anyagoknál megmutatkozó úgynevezett termikus inercia révén. A hőtehetetlenség mértékét a test sűrűségének, fajhőjének és hővezetési tényezőjének kombinációja adja, és megmutatja, hogy milyen mértékben lassítja a gyulladáshoz elengedhetetlen hőfelvételt az adott anyag esetében. [16]



Gondolhatnánk, hogy ez egy adott növényi anyag esetében konstans, hisz a termikus inercia előbbieken felsorolt tényezői, konstans anyagi állandók körébe tartoznak, melyek értékét ennek megfelelően táblázatokba foglalva bármikor kiolvashatjuk. Azonban a sűrűség mint befolyásoló tényező az előzőekben említett technológiai feldolgozás révén jelentős eltéréseket mutat, ha aprítással csökkentjük a szilárd növényi anyag részecskeméretét. Az aprózódás következtében egyre nagyobb és nagyobb lesz az anyag fajlagos felülete, minek révén mind több és több gázt képes adszorbeálni a levegőből. Vagyis a tömör szilárd anyagéhoz képest az átlagsűrűsége jelentősen lecsökken. Ráadásul a felszínén megkötődött oxigén elősegíti a szilárd anyagoknál a fázishatáron meginduló meggyulladásához szükséges aktiválási energiát is, mivel a szilárd anyagok külső felszínén elhelyezkedő az anyag struktúráját felépítő részecskékben a szomszédakkal képzett kölcsönhatások egyenlőtlenségei miatt aszimmetrikus vonzóerő ébred, ahogyan azt a 4. ábra is tükrözi.



4. ábra: Szilárd testek részecskéi között működő kohéziós és a felszínen ébredő erők [17]

Mindezeknek köszönhetően tehát az őrlményként felhasznált takarmánynövények alacsonyabb termikus tehetetlensége miatt csökken a gyulladási idő, valamint a felületen nagyobb arányban megkötött oxigénmolekulák folytán a gyulladáspontja is kisebb lesz, amely rontja a tűzbiztonságot. Annak eldöntése azonban, hogy ez milyen mértéket ér el csak konkrét vizsgálatok mérési adataiból határozható meg.

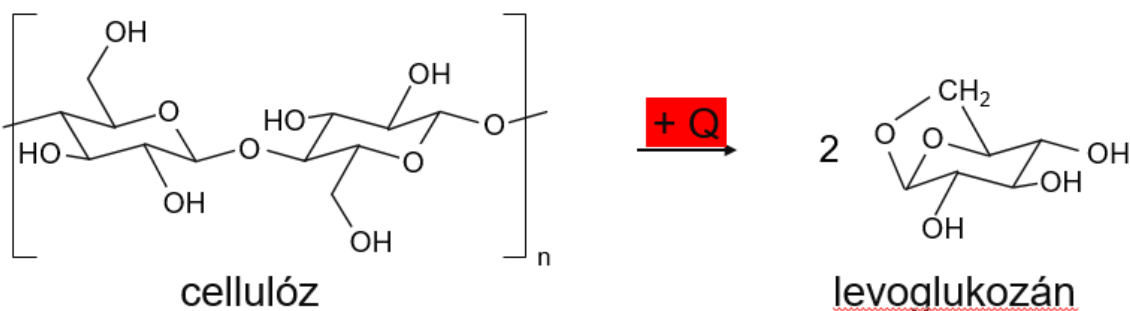


4. A TERMÉNYEK ÉGÉSE SORÁN KELETKEZŐ ANYAGOK

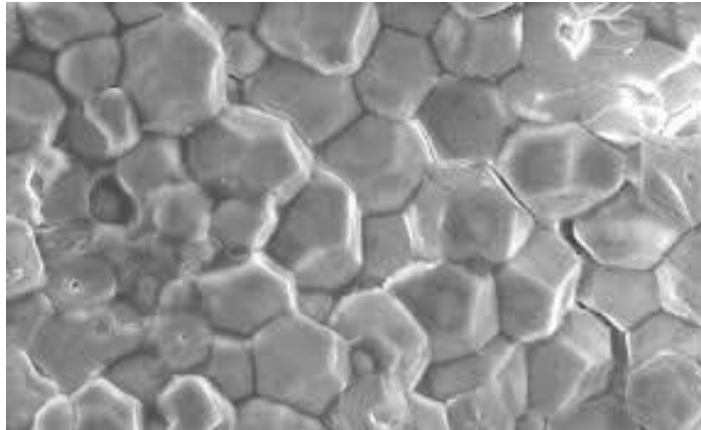
Az égés bekövetkezésének induló fázisát értelemszerűen a gyulladás pont tüzi ki, amelynek a korábban említettekkel összhangban a hőbomlás termékeinek éghetőségi jellemzői határozzák meg. A takarmánynövények esetében is lényeges összetevőként azonosítható vegyületek a minden növényi létformában jelenlévő óriásmolekula, a cellulóz pirolízisével és oxidatív kölcsönhatásainak eredményeként képződő egyszerűbb anyagok.

Az említettek között találhatunk tehát különféle oxidációs fokú szerves anyagokat, aldehideket, ketonokat, karbonsavakat és alkoholokat, illetve ezen utóbbiak kombinációját képező észtereket, stb. Magától értetődően az eltöredező makromolekulát helyett a felsorolt vegyülettípusoknál már a jóval kisebb molekulatömegűek határozott dominanciáját azonosíthatjuk, amint azt az alábbi cellulózmolekula átalakulásának kezdő fázisát vázoló (3) reakció példázza. [18]

Mindemellett ahogyan azt a felvezetőben is azonosítottuk a takarmánynövények sorában igen jelentős szerepet töltenek be a szemestermények és az azokból feldolgozást követően kapott termékek. Az alapanyagul szolgáló szemestermények összetétele ellenben sokkal összetettebb a fentebb leírt cellulóznál. Bennük jelentős mennyiségű fehérje és a cellulóznál jóval kisebb



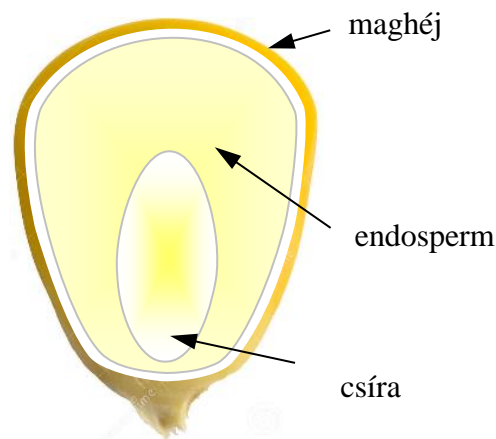
molekulatömegű poliszacharid, a keményítő, valamint telítetlen olajok dominálnak az adott növényre jellemző arányokban.



2. kép: Kukoricaszemben található keményítőszemcsék. [19]

A keményítő a további feldolgozási folyamatok értékes alapanyagként a szemesterményekből kinyerésre kerül. A keményítőszemcséket a 2. képen is jól megfigyelhető, a szem endosperm részébe történő jól strukturált beépülésük miatt, és a rossz oldékonyságát ellensúlyozandó rendre valamely aprítási eljárással, illetőleg az egyes fermentációs technológiákban nélkülözhetetlen optimalizált hőközléssel teszik lebonthatóvá. A jellemzően vizes fázisú feldolgozás termikus degradációt nem idéz elő a keményítőmolekulákban. Ellenben az lebontó szervezetek által termelt enzimek által elősegített biokémiai úton történő részleges oxidáció vezet az elsődleges termék, az etil-alkohol ipari léptékű kinyerhetőségéhez.

Ezen felül azonban a feldolgozás melléktermékei további nagy mennyiségben értékesíthető, és az állattenyésztésben jól hasznosítható komponenseket tartalmaznak. Az állati hasznosítás szempontjából azonban ezek az összetevők nem egyenértékűek és ez a szemek struktúrájában is elkülönülten lelhetőek fel, ahogyan azt a 3. ábrából is kikövetkeztethető. A példaként hozott kukoricaszemek is három fő része részre tagozódnak. A említett endosperm, a maghéj, és csíra.



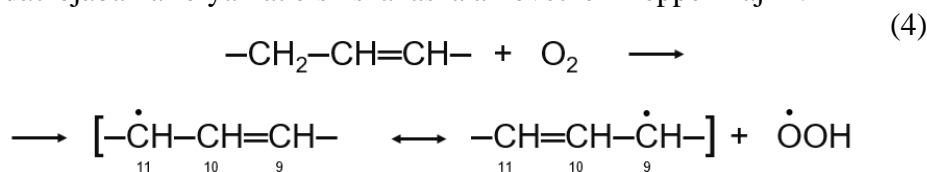


3. ábra: Kukoricaszem felépítése [20]

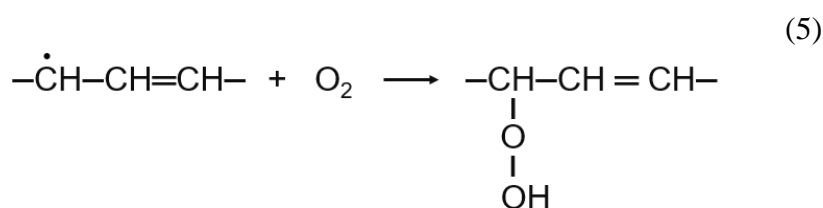
Utóbbi nagytápértékű növényi olajokban és fehérjékben gazdag. A növényi olajok kémiai szerkezetük révén erősen hajlamosak az oxidációra. Köszönhető ez elsősorban a kémiai szerkezetük sajátosságainak. Igaz ugyan, hogy az állati eredetű zsírokhoz hasonlóan ezek is hosszú szénláncú karbonsavak, szemben azonban az utóbbiakkal telítetlen π -kötéssel egymáshoz kapcsolódó szénatomok fordulnak elő molekuláikban.

Az említett kettős kötések alacsonyabb kötési energiáikból eredően – szemben például az ásványi olajokban fellelhető egyszeres σ -kötésekkel – sokkal könnyebben szakadnak fel és létesítenek új kötésekkel más reakciópartnerekkel. Így spontán módon hajlamosak oxidációra a levegő oxigénjével történő kölcsönhatás eredményeként. Az így lezajló folyamatban közbenső állomásként peroxidkötések létesülnek, ahogyan az a (4) reakcióból is kitűnik.

Az olajok oxidációjában a folyamat első szakasza a következőképpen zajlik:



Mindegyik peroxidgyök kölcsönhatásba lép az α -metilénecsoporttal, ami hidroperoxid képződését eredményezi:

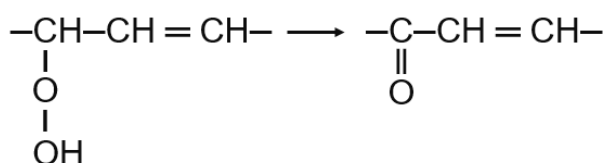
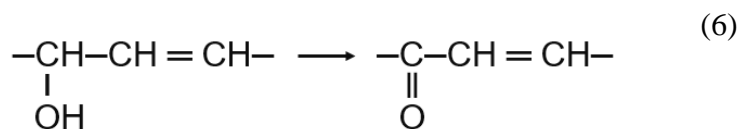


A növényi olajok oxidációs folyamatát számos mellékreakció kíséri, amely oxigéntartalmú funkciós csoportok (aldehid, epoxi, karboxil, hidroxil) és kis molekulatömegű bomlástermékek¹⁰ képződéséhez vezet. [21]

¹⁰ Az oxigén-oxigén kötés nem hőstabil, a külső hőmérséklet emelkedésével növekvő mértékben exoterm módon (hőfejlődés kíséretében) elbomlik. [3]



Egyebek mellett a növényi olajok avasodásakor érezhető kesernyős ízhatást is az így kialakuló ketonok képződése eredményezi, amelyek a hidroxil-, illetőleg hidroperoxid-csoportok további vízmolekula kihasadása kísérte bomlása következtében alakulnak ki:



A hőmérséklet növekedése a növényi olajok oxidációs folyamatainak intenzívebbé válását idézi elő, így a peroxidok képződését is a kettős kötések helyén. 80 °C felett az olaj színe megváltozik, mivel az aminosavak kölcsönhatásba lépnek a cukrokkal, és így képződő melanoidinek sötét színt adnak a magoknak és a kiváló olajoknak is, amint azt az 3. kép is példázza.

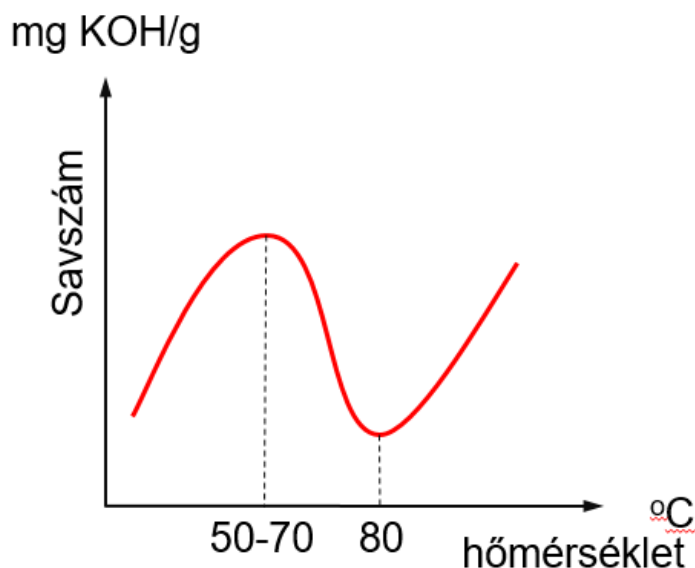


3. kép: Termény összesülése a kísérleti mintában¹¹

¹¹ Készült a szerző által elvégzett öngyulladásos tesztkísérletben felhasznált minta kiértékelésnek dokumentálásakor.



Az értékes tápanyagok termikus degradációja szoros összefüggésben áll az úgynevezett savszám változásával, amint az a következő 4 ábrán látható diagramról is leolvasható.



4. ábra: A napraforgómag savszámának változása melegítés közben [22]

A magok további hevítése növelheti a karcinogének policiklus tartalmát aromás szénhidrogének (PAH-k), közülük, például 3,4-benzpirén mennyiségének növekedését, melyre az öngyulladásos teszt során vizsgált 4. számú képen bemutatott minta belsejéből kipergő pirolizálódott csíraszemek elszenesedése is utal. [22]

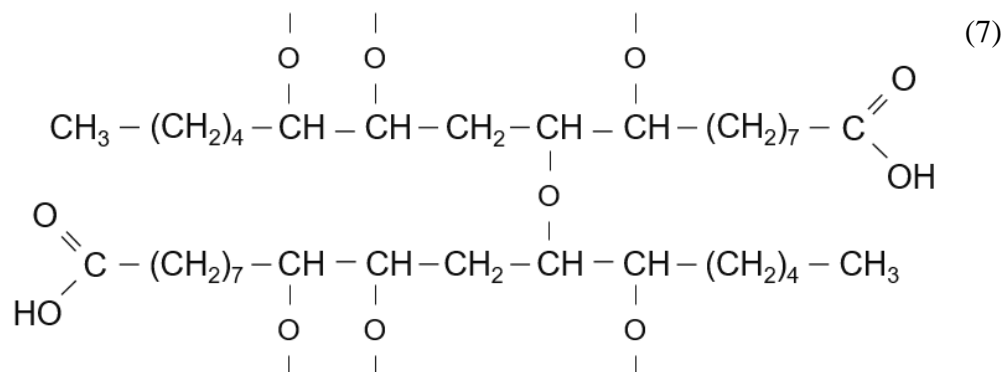


4. kép: Termény pirolizálódása a kísérleti mintában¹²

¹² Készült a szerző által elvégzett öngyulladásos tesztben felhasznált minta kiértékelésnek dokumentálásakor.



A növényi olajos magvakból kinyerhető egyes olajokban található többszörös kettőskötések peroxidképzése következtében kötéseik lehetőséget biztosítanak védőbevonatokként szolgáló térhálósodó kénecék előállítására. A száradó olajok ezen előnyös tulajdonságaikat a (7) reakcióegyenlet szerinti, a kettős kötéseik autoxidatív képességének köszönhetik. [23]





5. A KÍSÉRLETI EREDMÉNYEK ÉRTÉKELÉSE

Az eddigiek igazolják, hogy az öngyulladás folyamatában az anyagi jellemzőknek igen fontos szerepe van, de természetesen a legmeghatározóbb ezek között az anyagi minőség. Célszerű hát, ha számba vesszük, mennyire eltérőek az általam vizsgált anyagok az öngyulladási hajlamukat visszatükröző reakcióképesség szempontjából. Túl ezen még összetettebb képet kapunk, ha mindezeket összevetjük az ezt ugyancsak jelentősen befolyásoló fizikai állapotukkal, maga után vonva a fizikai-kémiai paraméterek vizsgálati eljárásbéli eltérését is.

A különféle anyagok öngyulladásának folyamatában jelentkező eltérések elsődlegesen a vizsgálat tárgyának kémiai összetételében keresendők tehát. Az ennek demonstrálására vizsgálataim során egyazon szemes takarmánynövény, a kukorica¹³, mint alapanyag szeszipari feldolgozásából származó hatféle anyagi minőség szerint elkülönülő melléktermékei öngyulladási folyamatainak jellegzetességét hasonlítottam össze. [9]

¹³ A termékek alapanyagául szolgáló kukoricára utal az egyes anyagok megnevezésénél használt CGF is, amely az angol elnevezés kezdőbetűiből képzett mozaikszó, azaz az angol Corn Gluten Feed szóösszetételt fedti.



A vizsgálati alapanyagok egyrésze vizuálisan is jól elkülöníthető anyagi halmazokat alkotnak, míg másik részük kémiai összetételük szerint választhatók csak szét. Ezt az 5. képen a feldolgozóiparban alkalmazott elnevezésüknek megfelelően tükröztetem.



5. kép: Vizsgálatban mintázott alapanyagok¹⁴

¹⁴ Készült a szerző saját felvételeinek felhasználásával.



6. ÖSSZEHASONLÍTÓ VIZSGÁLATOK

A minták öngyulladásai sajátosságai eltéréseinek megállapításához szükséges mérésorozatok elvégzése felvetheti továbbá a tűz megelőzés tekintetében lényeges anyagi jellemzők megállapításának szükségességét. Az öngyulladáshoz vezető folyamatokban képződő bomlástermékek égésének sajátosságai megmutathatják, hogy ezen anyagokat tároló létesítmény tüzesete során – a mennyiségi dimenziók figyelembe vételével – mekkora tűzterhelést eredményezhet felszabadulásuk.

A kukoricaszemet alkotó alapvegyületek százalékos tömegarányai az 1. számú táblázatban kerültek összefoglalásra.

1. táblázat: A kukoricaszem összetétele [24]

| Összetétel | Keményítő | Fehérjék | Rostok | Zsírok | Cukrok | Hamu | Víz |
|------------|-----------|----------|--------|--------|--------|------|------|
| m/m % | 62,7 | 8,2 | 8,2 | 3,7 | 2,2 | 1,2 | 13,8 |

A fenti anyagok öngyulladási folyamatait kísérő lassú felfutású termikus átalakulások nagyon hasonlatosak az élelmiszer technológiában alkalmazott pörkölés során lezajlókhöz. Természetesen az öngyulladást kísérő termikus bomlások csak azok kezdeti stádiumával vehetők össze, hisz az élelmiszeripari feldolgozás során a pirolitikus átalakulások mindössze az élvezeti értéket adó kémiai anyagok megjelenéséig tartanak. Azonban azok jellege egyértelműen jelzik az összetett, és még kevésbé tisztázott reakciók lényegi elemeit, melyek közül kiemelendő a karamellizációt leíró Maillard-reakció, ahogyan az a már előzőekben bemutatott, a méréseim során készített 3. számú képen is jól azonosítható. Ezen folyamatok során az alapanyagokat nagyjából 170–240 °C-ra melegítik, amely hőmérsékleti tartomány egybe esik az általam elvégzett az öngyulladási vizsgálatok során alkalmazottal.

Az említett kémiai átalakulások kezdeti fázisában a már említett Maillard-reakció elsődleges termékei barna színanyagokat, melanoidineket eredményező folyamatok, illetve más nem illó komponensek létrejöttéhez vezetők. Az illékony bomlástermékek vegyületei között megtaláljuk a különféle szénhidrátokból képződő furánvegyületeket, aldehideket, ketonokat és fenolokat, valamint a nitrogén tartalmú alkotókból képződő ketonokat, pirolokat, pirazinokat és piridineket, továbbá a lipidekből származó aldehideket és ketonokat, de ugyancsak jelentős



számban képződnek különféle fenolszármazékok is, ahogyan a 2. táblázatból is kiolvasható. [25]

Az átalakulások ezirányú jellegzetességei olvashatók ki a 2. számú táblázatból, amelyet az árpa pörkölésekor felszabaduló vegyületek GC/MS meghatározásával állítottak össze.

2. táblázat: Az árpa pörkölésekor képződő összetevők relatív előfordulási gyakorisága [26]

| | Megnevezés | Relatív gyakoriság |
|-----|--|--------------------|
| 1. | piridin | ** |
| 2. | metil-piridin | ** |
| 3. | acetyl-piridin | ** |
| 4. | pirazin | *** |
| 5. | metil-pirazin | ***** |
| 6. | 2,3-dimetil-pirazin | ***** |
| 7. | 2,5- (és / vagy 2,6-) dimetil-pirazin | ***** |
| 8. | 2-etil-5- (és / vagy 6-) metil-pirazin | *** |
| 9. | trimetil-pirazin | ***** |
| 10. | 2-etil-3,6-dimetil-pirazin | *** |
| 11. | 2-etil-5,6-dimetil-pirazin | *** |
| 12. | 6,7-dihidro-5h-ciklopentapirazin | *** |
| 13. | 2-metil-6,7-dihidro-5h-ciklopentapirazin | * |
| 14. | 5-metil-6,7-dihidro-5h-ciklopentapirazin | ** |
| 15. | acetyl-pirazin | * |
| 16. | tiazol | ** |
| 17. | 4-metil-tiazol | ** |
| 18. | 5-metil-tiazol | ** |



| | | |
|-----|---|----|
| 19. | 2,4- (és / vagy) 2,5-dimetil-tiazol | * |
| 20. | alkil-tiazolok | ** |
| 21. | dimetil-oxazol | ** |
| 22. | alkil-oxazol | * |
| 23. | 2-furánmetanol | |
| 24. | furfural | |
| 25. | metil-2-furfurol | |
| 26. | 2-acetilfurán | |
| 27. | dihidro-5-metil-2(3h)-furanon | |
| 28. | 2,5-hexanodion | |
| 29. | fenetil-alkohol | |
| 30. | alkil-piridinek | ** |
| 31. | α - (1-oxo-2-propenil)) piridin | * |
| 32. | 2- vagy 4-propionil-piridin | * |
| 33. | 3-propionil-pirrol | * |
| 34. | 3-acetil-pirrol vagy metil-pirrol-karboxaldehid | |
| 35. | pirazinok | * |
| 36. | etil-trimetil-pirazin | ** |
| 37. | dietil-metil-pirazinok | ** |

A bomlási folyamatok képezte fenti reakciótermékek között az illékony vegyületek sorában jelentős mennyiségben fordulnak elő a nitrogén-, oxigén-, illetve kéntartalmú heterociklusos komponensek, melyek az égett, pörkölt szaghatást kiváltják kis mennyiségben is. [25]



Ezek alacsony érzékszervi küszöbértékeik miatt az elvégzett kísérleteket követően is intenzív légcserre mellett is érzékelhetők voltak a vizsgálat környezetében. Általánosan elmondható, hogy az illékony bomlástermékek felszabadulását kimutathatóan elősegítette egyrészt a finom őrlemény formájában vizsgált alacsony, illetve magas fehérje tartalmú glutén részecskéi esetén megnyilvánuló alacsony termikus inerciája az anyagmintáinak nagyobb aprítási fokának köszönhetően. Hasonló okokból a pelletált hengeres struktúrájú CGF bomlási folyamatai szintén lassabban zajlanak le, szemben az ugyancsak CGF tartalmú, de durván szemcsézett aggregátumokból álló halmazban hatékonyabbá váló konvektív áramlások biztosította gyorsabb áthevülés következtében. Azonban a kukorica csíra halmazát összevetve az utóbbi termékfrakcióval, megállapítást nyert, hogy a pirolízis hatására a csírában a benne lévő vegyületek átalakulása az illékony bomlástermékek képződése helyett a karamellizáció irányába tolódnak el. Így a jelentősebb tömegveszteséggel járó illékony komponensek kevésbé dominálnak. Fontos azonban leszögezni, hogy a kísérleti tapasztalatok azt mutatják, hogy ugyanazon anyag egyező fizikai jellemzőkkel bíró aggregátumai esetében a nagyobb térfogatban már romlik a konvektív hőleadás képessége, az így fellépő hőakkumuláció az anyaghalmaz belsejében nagyobb intenzitású relatív tömegveszteséget vált ki. Ezt példázzák az eltérő térfogatokhoz kapcsolódó adatok. Az elmondottak bizonyítékául szolgálnak az általam vizsgált minták relatív tömegveszteségei maximális értékei is, melyek adatait a 3. számú táblázatban foglaltam össze.¹⁵

| Minta ¹ | [-d(m/m _o)/dτ] _{max} (min ⁻¹) | | (t _m) _{max} (°C) | |
|--------------------|---|-------|--|-------|
| | Alacsony | Magas | Alacsony | Magas |
| | fehérje tartalmú glutén | | | |
| 9. | | 0,023 | | 188,6 |
| 10. | 0,021 | | 187,3 | |
| 19. | 0,038 | | 194,4 | |
| 20. | | 0,023 | | 197,4 |

¹⁵ Összeállította a szerző [27] nyomán.



| Minta ¹ | Száraz | Pelletált | Száraz | Pelletált |
|--------------------|----------------------------------|-----------|------------|-----------|
| | CGF | | | |
| 5. | 0,069 | | 164,9 | |
| 7. | | 0,022 | | 167,7 |
| Minta ¹ | Száraz CGF | Csíra | Száraz CGF | Csíra |
| 8. | 0,05 | | 191,2 | |
| 6. | | 0,017 | | 191,7 |
| Minta | Alacsony fehérje tartalmú glutén | | | |
| 3. ¹ | 0,020 | | 173,2 | |
| 35. ² | | 0,058 | | 176,3 |

Mintatérfoogatok: ¹(5*5*5) cm³; ²(10*10*10) cm

7. ÖSSZEGZÉS

Az általam elvégzett laboratóriumi vizsgálatok a tűzveszély megítélésében szolgáltathatnak alapot a kiválasztott anyagok tűzvédelmi jellemzését illetően, melynek megítélésében a tűzvédelmi mérnöki szaktudás elengedhetetlen, különösen az úgynevezett kritikus körülmények laboratóriumi definiálása terén. A laboratóriumi vizsgálatok során lényeges szempontként azonosítottam az anyagi minőség szerepét a takarmányozási céllal felhasználandó egyes termékek öngyulladásra hajlamára gyakorolt hatások sorában.

Az cikkben közölt eredményekből egyebek mellett kitűnik, hogy a jelentős mennyiségű illékony bomlási komponenseket felszabadítani képes anyagok különösen tűzveszélyesek. Gondoskodni kell tehát a folyamatos megbízható tűzvédelmi műszaki-technikai felügyelet alatt tartásukról, illetőleg olyan környezeti feltételeket kell számukra biztosítani, amelyek érdemben csökkenthetik az ezen tényezőkkel összefüggésben jelentkező öngyulladás kockázatát.



FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Химическая Энциклопедия, в пяти томах, Издательства «Большая Российская Энциклопедия» Москва, 1995, ISBN 5-85270-092-4 (т. 4) 289. о.;
- [2] National Fire Protection Association (NFPA): Glossary of terms 2019 edition, [glossary of terms 2019.ashx \(nfpa.org\)](https://www.nfpa.org/glossary-of-terms-2019.ashx), (letöltve: 2020. 12. 19.);
- [3] Fölkl R. et al.: Munkaegészségügyi és Munkavédelmi Enciklopédia, Budapest 1987., 1. kötet, ISBN 963-592-432-1, 1001. о.;
- [4] International Organization for Standardization: ISO 13943:2017(en): Fire safety – Vocabulary, [ISO 13943:2017\(en\), Fire safety — Vocabulary](https://www.iso.org/standard/69411.html), (letöltve: 2020. 12. 19.);
- [5] National Fire Protection Association (NFPA): Fires Caused by Spontaneous Combustion or Chemical Reaction Fact Sheet, [Microsoft Word - FactsheetFirescausedbySpontaneousCombustionorChemicalReaction \(nfpa.org\)](https://www.nfpa.org/factsheet-fires-caused-by-spontaneous-combustion-or-chemical-reaction), (letöltve: 2020. 12. 19.);
- [6] Brian F. Gray: Spontaneous Combustion and Self-Heating, SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, Greenbelt, MD, USA 2016., ISBN 978-1-4939-2565-0, pp. 604;
- [7] Központi Statisztikai Hivatal: A fontosabb gabonafélék termesztése és felhasználása (2015–), [STADAT – 4.1.15. A fontosabb gabonafélék termesztése és felhasználása \(2015–\) \(ksh.hu\)](https://www.ksh.hu/stadat/4.1.15), és Élő állatok és állati termékek termelése, felhasználása (2015–), [STADAT – 4.1.24. Élő állatok és állati termékek termelése, felhasználása \(2015–\) \(ksh.hu\)](https://www.ksh.hu/stadat/4.1.24), (letöltve: 2020. 12. 19.);
- [8] Duynie Beuker Feed: Mi ez a termék? - Mi a DDGS?, <https://www.duynie.hu/termekek/ddgs/1604>, (letöltve: 2020. 12. 21.);
- [9] Nagy Rudolf: A növényi anyagok öngyulladásának laboratóriumi vizsgálata, Szakdolgozat, 2015., Ybl Miklós Építéstudományi Kar, Tűz- és Katasztrófavédelmi Intézet;
- [10] Health and Safety Executive: The storage and handling of organic peroxides, ISBN 978 0 7176 2403 4, [The storage and handling of organic peroxides \(hse.gov.uk\)](https://www.hse.gov.uk/storage-handling-organic-peroxides/), (letöltve: 2020. 12. 21.);



- [11] A.C. Hordijk and J.J. de Groot: Experimental data on the thermal kinetics of organic peroxides', in 'Thermochimica Acta, 101 (1986) 45-63 o.;
- [12] KOSEKI, Hiroshi - TAMURA, Masamitsu: Association for the Study of Failure: Spontaneous ignition of organic peroxide under storage, <http://www.shippai.org/fkd/en/cfen/CC1200014.html>, (letöltve: 2021. 01. 14.);
- [13] Демидов П. Г., Шаидыба В. А., Щеглов П. П. Горение и свойства горючих веществ.- 2-е изд., перераб. - Москва,: Химия, 1981., 53 о., [1981 П.Г. Демидов, В.А. Шандыба, П.П. Щеглов Горение.pdf \(poznprojekt.ru\)](#) (letöltve: 2020. 12. 18.);
- [14] West Yorkshire Fire & Rescue Service: A second large scale fire in West Yorkshire dealt with by crews overnight, 2017. August 10., <http://www.wyfs.co.uk/wp-content/uploads/2018/06/2017-18-PMR-1806-FA.pdf>, (letöltve: 2021. 01. 22.);
- [15] West Yorkshire Fire & Rescue Service: Performance Management and Activity Report 2017/18, 2018. June 6., <http://www.wyfs.co.uk/wp-content/uploads/2018/06/2017-18-PMR-1806-FA.pdf>, 13. p, (letöltve: 2021. 01. 22.);
- [16] Beda L. – Kerekes Zs.: Égés és oltáselemélet II. Főiskolai jegyzet, 2006, ISBN 978-963-9483-21-2, 81. o.;
- [17] Nagy R.: Öngyulladás előadás, Óbudai Egyetem, Tűzvédelem I. kurzus;
- [18] Khaled Chetehouna et al: Pyrolysis gases released during the thermal degradation of insulation materials based on straw fibers, Journal of Thermal Analysis and Calorimetry (2015) ISSN 1588-2926, (letöltve: 2021. 01. 17.);
- [19] M. Gaytán-Martínez et al: Microstructure Of Starch Granule Related To Kernel Hardness In Corn, Revista Fitotecnia Mexicana Vol. 29 (Núm. Especial 2), 2006, <https://www.revistafitotecniamexicana.org/documentos/29-2%20Especial%202/23a.pdf>, (letöltve: 2021. 01. 23.);
- [20] Kálmán Gergely: Új lehetőségek a kukorica termesztése és feldolgozása során keletkező melléktermékek hasznosítására, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Vegyészmérnöki és Biomérnöki Kar, Doktori értekezés, 2008., http://www.omikk.bme.hu/collections/phd/Vegyeszmernoki_es_Biomernoki_Kar/2008/Kalman_Gergely/tezis_hun.pdf, (letöltve 2015. 05. 21.);



- [21] М. Ф. Сорокин Л. Г. Шодэ З. А. Кочнова: Химия и Технология Пленкообразующих Веществ, Москва, 1981, 380. о.;
- [22] Т.К. Акаева, С.Н. Петрова: Основы химии и технологии получения и переработки жиров, Ивановский государственный химико-технологический университет, Часть 1. Технология получения растительных масел, Учебное пособие, Иваново 2007, [Основы химии и технологии получения и переработки жиров. Ч.1. Технология получения растительных масел.pdf](#), 32. о. (letöltve 2021. 03. 14.);
- [23] R. Lambourne and T. A. Strivens: Paint and Surface Coatings: Theory and Practice, Department of Physical Chemistry University of Bristol, 1987, ISBN 5-7245-0446-4, <https://pdfs.semanticscholar.org/f51f/17946c21c795690907980aed9124e04737bc.pdf>, 24. о., (letöltve 2021. 03. 14.);
- [24] Hite, P.J., Johnson, L.A., Corn: Chemistry and Technology, American Assoc. of Cereal Chemists, St. Paul, MN, USA, 2003;
- [25] Csóka M. – Amtmann M.: Illatos kémia Élvezeti cikkek aroma-összetételének vizsgálata, Magyar Kémikusok Lapja, ISSN 1588-1199, LXXIII. Évf. 2018. november, https://www.mkl.mke.org.hu/images/Dokumentumtar/2018/2018_11.pdf, 339-340 о., (letöltve 2021. 04. 01.);
- [26] Volatile basic compounds derived from roasted barley. Harding, R.; Wren, J.; Nursten, H. Journal of the Institute of Brewing 84 (1): 41-42 1978., ISSN:2050-0416, <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/j.2050-0416.1978.tb03836.x>, (letöltve 2021. 04. 01.);
- [27] O. C. Parvulescu, T. Dobre, L. Ceatra, Gu. Iavorshi, R. Mirea: Characteristics of Corn Grains Pyrolysis in a Fixed Bed Reactor, Revista de Chimie, Vol. 62., 2011., [Revista de Chimie, Volume: 62, Year: 2011, Issue: 1](#), 92. о. (letöltve: 2021. 03. 30.);

Dr. Nagy Rudolf adjunktus,

Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar

nagy.rudolf@uni.obuda.hu

Rudolf Nagy PhD, assistant professor, Óbuda University, Donát Bánki Faculty of Mechanical and Safety Engineering

ORCID azonosító: 0000-0001-5108-9728