

JACEK BIŁOWICKI

*Instytut Budownictwa, Mechanizacji i Elektryfikacji Rolnictwa w Warszawie*

## SAMOZAGRZEWANIE I SAMOZAPŁON SIANA — PRZYCZYNY I ZAPOBIEGANIE

Występujące od czasu do czasu pożary stert lub stodół, powodujące znaczne straty materialne, są niekiedy przypisywane samozapłonowi siana. Możliwość samozapłonu powstaje w wyniku intensywnego samozagrzewania się materiału roślinnego niedostatecznie wysuszonego, składowanego w dużej masie.

Chcąc uzyskać możliwie najwyższą wartość pokarmową siana, a niekiedy ponaglani okresowym spiętrzeniem prac, rolnicy decydują się na zwożenie do stert czy stodół masy roślinnej o wilgotności zbyt wysokiej dla bezpiecznego przechowywania. Zdarza się tak zwłaszcza w regionach o dużej zmienności warunków atmosferycznych np. podgórskich czy nadmorskich.

Przy sztucznym dosuszaniu przez wentylację nieogrzewanym powietrzem, ryzyko samozagrzewania się siana zostaje prawie całkowicie wyeliminowane, pomimo że wilgotność materiału składowanego do stert, na poddasza czy do stodół, jest stosunkowo wysoka (w granicach 35—45%). Innym rozwiązaniem może być dodawanie różnych środków chemicznych jak sól kuchenna, kwas propionowy czy amoniak, konserwujących wilgotne siano.

W związku z dość powszechnie stosowanym sztucznym dosuszaniem, a także coraz częstszymi próbami chemicznego konserwowania siana — w obu przypadkach zbieranego z pola przy podwyższonej wilgotności — warto poświęcić nieco uwagi samozagrzewaniu się i możliwościom samozapalenia siana.

Dotychczasowa wiedza na ten temat opiera się głównie na obserwacjach z praktyki i analizowaniu popełnianych błędów, niejednokrotnie zbyt drogo opłacanych. Potrzeby praktyki zainspirowały doświadczenia laboratoryjne mające na celu zbadanie warunków, w jakich samozapłon siana może wystąpić. Dopiero w ostatnich latach udało się doprowadzić do samozapalenia się siana w kontrolowanych warunkach w laboratorium [25, 33].

W opracowaniu tym starano się zebrać i przeanalizować dostępne, głównie z literatury obcej, informacje w celu wyciągnięcia odpowiednich wniosków dla praktyki rolniczej w kraju.

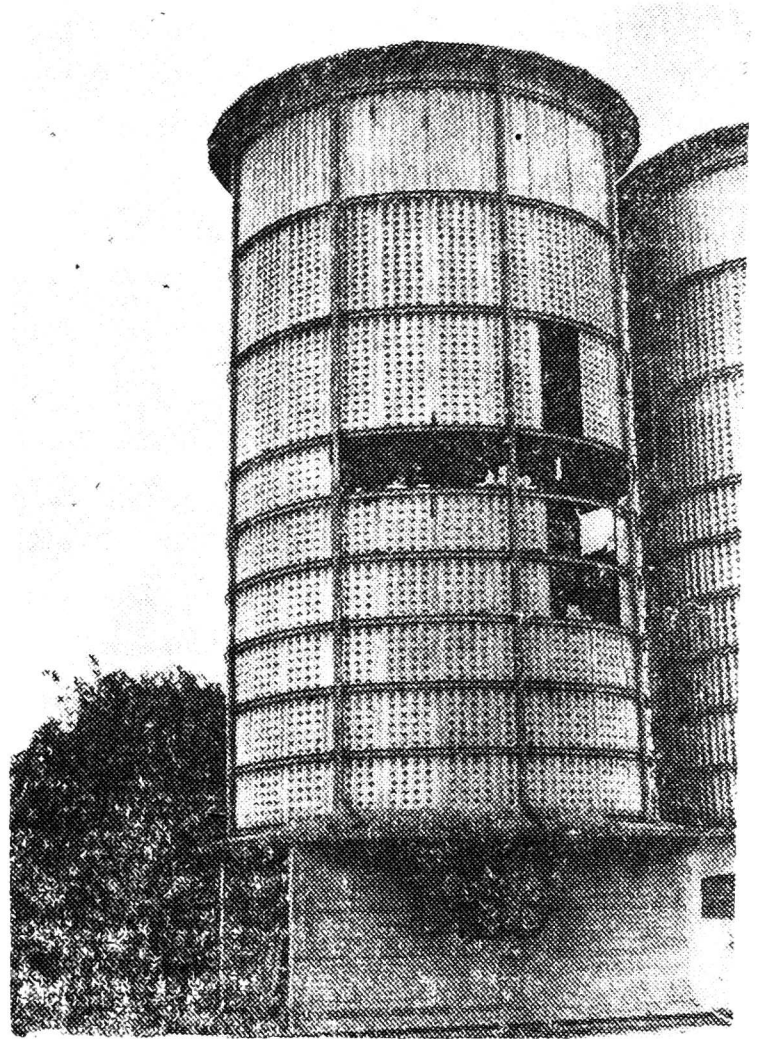
### Przypadki samozapalenia się siana

Wypadki samozapalenia się siana miały miejsce w stodołach, stertach, na poddaszach i w zbiornikach wieżowych. O zagrożeniu pożarowym i praktycznych sposobach zapobiegania samozapłonowi siana, szczególnie w podgórskich regionach alpejskich, mówią opracowania szwajcarskie [2, 23], austriackie [14, 47) i węgierskie [59]. Problem ten poruszany jest także w pożarniczej literaturze radzieckiej [64], gdzie wspomina się o samozapaleniu się siana w zbiorniku wieżowym. Nieliczne stosunkowo opracowania krajowe [41, 45, 63] ograniczają się raczej do ogólnych wiadomości na temat przebiegu warunków wilgotnościowo-termicznych w stogu, mogących doprowadzić do samozapłonu siana.

Van Schreven [60] przytacza następujące dane o ilości pożarów na terenie Holandii, powstałych na skutek samozapłonu siana w okresie od czerwca do września poszczególnych lat: 1951—97, 1952—65, 1953—69, 1954—65. Na terenie RFN w latach pięćdziesiątych, głównie w Bawarii [30], samozapalenie się siana było przyczyną ponad stu pożarów rocznie. Genzmer [25], podaje, że wypłacane odszkodowania za pożary wynikłe na skutek samozapalenia się siana w 1972 r. osiągnęły w skali kraju (RFN) kwotę 100 mln DM. Szczególnie w rejonach południowych, podgórskich, gdzie pogoda utrudnia wysuszenie siana na polu, obserwuje się wzrost liczby pożarów; według Bawarskiej Izby Ubezpieczeń straty na skutek samozapalenia się siana na tym terenie wyniosły w 1972 r. około 10 mln DM [25], zaś w roku gospodarczym 1976/77 ponad 16 mln DM [27]. W Szelzwigu-Holsztynie straty te stanowiły 19—27% łącznych strat ponoszonych przez rolnictwo w wyniku pożarów. Szereg pożarów stogów z sianem wystąpiło po powodzi w rejonie Vermont (USA). Badając przyczyny pożarów stwierdzono [61], że podmoknięte i wtórnie nawilgocone siano uległo samozagrzeniu, prowadzącemu w skrajnych przypadkach do samozapłonu. Przypadek samozapalenia się siana ładowanego na strych dmuchawą ssąco-tłoczącą obserwowano ostatnio w Szwecji [42], podając jako przyczynę zbyt wysoką wilgotność i nadmierne ubicie siana.

W jednym z gospodarstw w Płn. Nadrenii samozapłonowi uległo siano z traw zgromadzone i sztucznie dosuszane w wieży systemu Schwarting (rys.); za przyczyny uznano zbyt wysoką wilgotność silnie ulistnionego, wskazującego tendencję do zlegania się siana z traw, a także błędy techniczne sztucznego dosuszania przez wentylację. Należy zaznaczyć, że zgodnie z obowiązującymi w RFN przepisami [35] stwierdzenie braku umiejętności, braku nadzoru lub innych zaniedbań ze strony rolników, które doprowadza do samozapalenia siana, wyklucza możliwość uzyskania pełnego odszkodowania za straty poniesione na skutek pożaru. Glathe [30] uważa, że gospodarstwa większe (30—50 ha), gromadzące w stertach

znaczną masę siana, są bardziej narażone na pożary na skutek samozapłonu.



Rys. Wieża, w której nastąpił samozapłon; widok po akcji ratowniczej

W latach ubiegłych IBMER przeprowadził dwie ekspertyzy [7, 43] w których przy ustalaniu przyczyny pożarów rozpatrywana była także możliwość samozapalenia się siana. Między innymi w jednym z PGR spłonęła stodoła; w jej sąsiedkach znajdowały się urządzenia z wentylatorami do sztucznego dosuszania, na których wysuszono i zamagazynowano około 240 ton siana z traw i lucerny. Powstałe w wyniku pożaru straty zostały oszacowane, wg cen z roku 1973, na około 620 tys. zł.

### *Samozagrzewanie się a jakość siana i straty wartości pokarmowej*

Straty przy zbiorze zielonek na siano mogą być bardzo znaczne, sięgające 1/3 i więcej składników pokarmowych zawartych w roślinach w chwili koszenia [8, 12]. Większość tych strat ma miejsce podczas zabiegów przeprowadzanych na polu, zależnie od techniki zbioru i przebiegu pogody podczas sianokosów i nie wiąże się bezpośrednio z omawianym zagadnieniem.



Niezależnie od technologii zbioru i suszenia, siano jest następnie przechowywane przez okres kilku miesięcy. Zjawiskiem samozagrzewania się siana składowanego w dużej masie interesowano się przede wszystkim właśnie z punktu widzenia jego jakości oraz wielkości strat składników pokarmowych z tym związanych. Straty te są na ogół 2—4-krotnie niższe od strat zachodzących na polu, a ich wielkość zależy od intensywności procesów fizjologicznych (oddychanie) oraz mikrobiologicznych i chemicznych (fermentacja) w niezupełnie wysuszonej masie roślinnej, wywołujących wzrost temperatury składowanego siana.

Przeprowadzone zostało wiele obserwacji praktycznych oraz doświadczeń w skali laboratoryjnej i półtechnicznej, badających powstawanie strat podczas przechowywania siana.

Z praktyki wiadomo [30, 41, 61], że siano po złożeniu do stert czy stodół przechodzi naturalny proces tzw. pocenia się. Wilgotność składowanego w stogu siana nie jest jednolita, w niektórych partiach może przekraczać 25%; występują także różnice wilgotności liści i łodyg, zwłaszcza u motylkowych, część komórek roślinnych pozostaje żywa. W wyniku oddychania roślin oraz działalności drobnoustrojów temperatura masy siana wzrasta do 40—50°C. Znajdujące się początkowo wewnątrz stogu powietrze, przy nieuleżanym sianie, stwarza sprzyjające warunki tlenowe; osiadanie siana utrudnia odprowadzenie wydzielonego ciepła na zewnątrz stogu. Niemniej, zazwyczaj po upływie kilku dni, temperatura samoistnie opada; siano zachowując naturalną lub lekko przyciemnioną barwę i normalny aromat może być bezpiecznie przechowywane.

Zjawisko to występuje na ogół w ciągu 1—4 tygodni po ułożeniu stogu. Zachodzące na skutek fermentacji zmiany (karmelizacja cukrów) wpływają korzystnie na właściwości smakowe siana, jednak kosztem strat części składników pokarmowych, zwłaszcza łatwo rozpuszczalnych węglowodanów. Straty związane z przechowywaniem siana z traw i motylkowych w normalnych warunkach wynoszą: suchej masy 5—10%, białka ogólnego 2—10% i wartości skrobiowej 2—10% [6, 61]. Wielu badaczy stwierdza istnienie wyraźnej korelacji między temperaturą w stogu, a wielkością strat. Największe są straty składników bezazotowych wyciągowych, zwłaszcza łatwo rozpuszczalnych cukrów, jak sacharoza i dekstrozy [17, 22]. Oprócz strat wartości skrobiowej następstwem zagrzewania się siana jest spadek strawności białka.

Opracowania holenderskie podają [60], że obniżenie się strawności białka rozpoczyna się już przy temperaturze 45°C, zaś przy wzroście temperatury powyżej 75°C (co może stwarzać już zagrożenie samozapalenia się) strawność białka osiąga wartość prawie zerową.

Istotne są także ubytki witamin, szczególnie karotenu, powodowane m.in. wzrostem temperatury.



Dalsze straty wiążą się ze zwiększonym zużyciem energii przez zwierzęta na trawienie znacznych ilości włókna, zawartego w sianie gorszej jakości (obniżenie wartościowości paszy).

Procesy fermentacji w stogu wywołujące wzrost temperatury, choć nie stwarzające jeszcze zagrożenia pożarowego, lecz utrzymujące się przez dłuższy czas powodują, że siano traci znaczną część składników pokarmowych, w czym około 69% stanowią węglowodany, około 15% białko surowe [60, 61]. Rozwój pleśni powoduje tzw. kurzenie się po wysuszeniu, siano jest pozbawione naturalnego aromatu i mniej chętnie wyjadane przez zwierzęta. Ponadto z badań angielskich wynika, że w wilgotnym sianie zagrzewającym się do około 50°C może następować rozwój mikroorganizmów patogennych (*Aspergillus fumigatus*, *Actinomyces* sp.) powodujących u ludzi poważne schorzenie zwane farmerskim zapaleniem płuc [9, 13].

#### *Czynniki powodujące zagrzewanie się siana w stogu*

Niekorzystny wpływ na jakość suszonej zielonki zależy od wysokości temperatury i czasu jej oddziaływania na materiał roślinny. Samoistny przyrost temperatury siana w stogu, któremu przypisuje się szkodliwe działanie, jest zjawiskiem skomplikowanym, stanowiąc wypadkową działania zespołu czynników takich, jak wilgotność siana, sposób suszenia, rodzaj i stadium dojrzałości porostu roślinnego, stosowane nawożenie, postać fizyczna i stopień ugniecenia siana oraz warunki składowania. Wpływ poszczególnych czynników omówiono poniżej.

**Wilgotność siana.** W wielu doświadczeniach stwierdzono, że intensywność procesów egzotermicznych (a tym samym wysokość strat) jest prawie wprost proporcjonalna do wilgotności składowanego siana. M.in. z badań duńskich przytaczanych przez Watsona i Nasha [61] wynika, że osiągnięta w stogach temperatura wzrastała od 28° do prawie 75°C, w miarę jak wilgotność układanego siana zwiększała się od 18,5 do 29%. W wilgotnych częściach roślin mogą zachodzić wyzwalające ciepło procesy przemiany materii (oddychanie, procesy enzymatyczne), woda stanowi także podłoże dla rozwoju mikroorganizmów. Na ogół oddychanie roślin ustaje przy spadku wilgotności poniżej 38%, aczkolwiek ta krytyczna zawartość wody może być różna u różnych roślin. Rehrl [47] podaje, że zagrzewanie się w stogu występuje, jeśli wilgotność całych źdźbeł przekracza 20%, zaś siewki 16%. Dopiero przy wilgotności materiału roślinnego 10—13% ustają wszelkie procesy wywołujące zmiany w składzie chemicznym i wyzwalające ciepło [55]. Stan taki można osiągnąć, gdy wilgotność względna otaczającego powietrza nie przekracza 50% (przy temperaturze 20°C), co nie zdarza się często w naszych warunkach kli-

matycznych podczas sianokosów. Nawet przy sprzyjających warunkach suszenia, na skutek różnic wilgotności poszczególnych partii siana, mogą występować miejsca silniej zagrzewające się. Z tego punktu widzenia groźniejsza jest naturalna wilgoć zawarta w samych komórkach roślin, niż wtórne nawilgocenie zewnętrzne na skutek deszczu lub rosy. Natomiast siano zadeszczone jest bardziej podatne na pleśnienie.

Jako bezpieczną przy dłuższym przechowywaniu siana przyjmuje się wilgotność 16—18% [27].

**Sposób suszenia.** Wilgotność siana zależy od sposobu i warunków suszenia. Na ogół siano wysuszone na ziemi jest wilgotniejsze niż suszone na kozłach lub płotkach; mogą występować także większe różnice między wilgotnością poszczególnych partii materiału roślinnego. Badając stogi siana na 264 fermach holenderskich [60] stwierdzono, że maksymalna temperatura siana wysuszonego na kozłach wynosiła średnio 33°C, natomiast w sianie suszonym na pokosach była o około 10°C wyższa; wyższe temperatury (ponad 60°C) występowały znacznie częściej w stogach z sianem suszonym na pokosach. Przy zbyt szybkim suszeniu na polu, podczas dobrej pogody, siano wydaje się bardziej suche niż jest w rzeczywistości. Szczególną uwagę należy wówczas zwracać na łodygi roślin motylkowych, które zawierają więcej wody od pozostałych części roślin i dłużej ją utrzymują (trudniej oddają). Znaczne wyrównanie przebiegu wysychania łodyg i liści uzyskuje się stosując zgniatanie lub tzw. bijakowanie roślin po skoszeniu. Zabiegi te uszkadzają strukturę łodyg ułatwiając oddawanie wody. Jednolita wilgotność masy roślinnej ma duże znaczenie zwłaszcza gdy siano zostaje sprasowane w bele o znacznym stopniu zgniotu. Do dosuszania przez wentylację siano jest składowane przy stosunkowo wysokiej wilgotności (30—45%). Przepływ powietrza przez warstwę podsuszanej zielonki zabezpiecza przed zagrzewaniem się, odbiera i odprowadza oddawaną wilgoć, dosuszając masę roślinną do wilgotności 16—18%. Podczas przerw w wentylacji mogą zachodzić procesy fermentacyjne wyzwalaające ciepło; powodując przyrost temperatury masy roślinnej do 40—50°C. Ponowne włączenie wentylatora schładza siano, zaś nagromadzone ciepło zwiększa działanie suszące przepływającego powietrza.

Na Węgrzech [59] przy sztucznym dosuszaniu i przechowywaniu w dużych stertach (150 i więcej ton) badano wpływ samozagrzewania się na jakość siana z lucerny, umieszczając wewnątrz stert zestawy kilkudziesięciu termistorów. W przypadku niewłaściwego rozprowadzenia powietrza w masie roślinnej o wilgotności początkowej 40—45%, wzrost temperatury do 55°C powodował występowanie pleśni; w wyższych temperaturach siano brązowieło, obserwowano znaczne straty suchej masy i spadek strawności białka.

Rodzaj porostu i stadium wegetacji roślin. Porost rośliny we wczesnych stadiach wegetacji zawiera dużo łatwo rozpuszczalnych składników pokarmowych, stanowiących podatne podłoże dla rozwoju mikroorganizmów. Młode, niezdrewniałe rośliny wykazują tendencję ścisłego zalegania w warstwie. Dlatego też im wcześniej koszony, mniej dojrzały porost, tym staranniejszego wymaga suszenia. Siano z roślinności dojrzałej, zawierającej więcej włókna, nawet przy nieco wyższej wilgotności jest mniej podatne na zagrzewanie się.

Siano z motylkowych zawierające więcej białka, łatwiej zagrzewa się niż siano z traw. Intensywne nawożenie azotowe, zwiększające zawartość białka w roślinach nawet do 24%, sprzyja procesom fermentacyjnym w sianie. Podobnie siano z gleb wapnowanych, lekko alkalicznych lub obojętnych, bogatsze w składniki pokarmowe — łatwiej zagrzewa się od porostu z gleb kwaśnych i torfowych [30, 45].

Postać fizyczna i stopień ugniecenia siana. Zależnie od technologii zbioru, oprócz siana długiego luzem, przechowywany materiał może być cięty na sieczkę lub sprasowany w małe lub duże bele.

Przechowując siano z traw cięte na sieczkę o długości 12—15 cm, w partiach o masie około 1 t, Shepperson [52] stwierdził, że jeśli ciężar objętościowy siana przekraczał  $100 \text{ kg/m}^3$  przy wilgotności powyżej 20% powstawały warunki do intensywnego zagrzewania się, a temperatura niejednokrotnie przekraczała  $50^\circ\text{C}$ .

Nelson [38, 39, 40] badał w warunkach laboratoryjnych zagrzewanie się i związane z tym straty wartości pokarmowej sprasowanego siana z lucerny i traw, przechowując pojedyncze bele w izolowanych komorach, stwarzających warunki porównywalne do warunków przechowywania w stogu. Różnicowano przy tym stadium wegetacji roślin, lub wilgotność (w zakresie 22—52%) oraz stopień zgniotu bel. Temperatura wewnątrz bel osiągała wartość szczytową po około 6 dniach, dochodząc do około  $65^\circ\text{C}$  ilość powstającego ciepła wzrastała z wilgotnością i stopniem zgniotu bel.

Siano jednolicie wysuszone, którego wilgotność nie przekracza 16—18% może być bezpiecznie przechowywane nawet przy znacznym ugnieceniu ( $150—180 \text{ kg/m}^3$  i więcej). Ważne jest jednak utrzymanie jednolitej wilgotności w całej masie, szczególnie podczas prasowania w bele. Przy stopniu zgniotu około  $100 \text{ kg/m}^3$  nawet niewielkie ilości wilgotnego materiału mogą tworzyć ogniska podwyższonej temperatury utrzymujące się przez dłuższy czas. Niebezpieczne jest również prasowanie zagrzanego siana.

Dostęp powietrza do wnętrza stogu bezpośrednio po ułożeniu ułatwia odprowadzanie ciepła na zewnątrz, aczkolwiek stwarza warunki dla egzo-



termicznych procesów utleniania. W miarę osiadania stogu dostęp powietrza maleje, co wpływa hamująco na procesy fermentacji, jednocześnie jednak odprowadzenie powstającego ciepła zostaje utrudnione ze względu na izolujące właściwości siana.

Przy dosuszaniu przez wentylację, zbyt silne sprasowanie (ponad  $120 \text{ kg/m}^3$ ) materiału roślinnego utrudnia przepływ powietrza przez bele, co może prowadzić do zagrzewania się i pleśnienia siana wewnątrz bel.

Nie bez znaczenia jest także sposób załadunku. Na przykład przy użyciu dmuchawy może powstawać silniejsze ugniecenie warstwy w miejscu wylotu z rurociągu.

**W a r u n k i s k ł a d o w a n i a.** Zostało stwierdzone [47], że w stogach większych pod względem rozmiarów i masy, siano ulega intensywniejszemu zagrzewaniu, osiągając wyższe temperatury niż w małych. Dlatego też z określonej masy siana, szczególnie w dużych gospodarstwach, bezpieczniej jest ułożyć kilka mniejszych stogów niż jeden duży. Nie bez znaczenia pozostaje kształt stogu; zaleca się formowanie przyzmaczej o podstawie w kształcie wydłużonego prostokąta niż koła czy kwadratu; sprzyja to wymianie powietrza z otoczeniem [61]. Uformowanie stogu, zwłaszcza z dużej masy siana, wymaga odpowiedniego doświadczenia i praktyki ze strony obsługi. W dużych stogach zaleca się wykonywanie specjalnych kanałów wentylacyjnych [44].

Przykrywanie folią stogu z wilgotnym sianem może powodować, nawet przy sztucznym dosuszaniu, kondensację pary wodnej w górnych partiach, a w efekcie — nasilenie procesów fermentacji. Natomiast siano wysuszone wymaga zabezpieczenia przed zamoknięciem zarówno od podłoża przez podsiąkanie, jak zaciekanie np. na skutek nieszczelności dachów w budynkach. Niejednokrotnie warunki klimatyczne (opady) utrudniają wysuszenie lub, przy wysokiej wilgotności względnej powietrza, powodują wtórne nawilgacanie siana wysuszonego uprzednio. Sztuczne dosuszanie przez wentylację w znacznym stopniu eliminuje zależność od warunków pogody.

**S i a n o b r u n a t n e.** Procesy fermentacyjne podnoszące temperaturę w niedosuszonym materiale roślinnym wykorzystywano przy produkcji tzw. siana brunatnego. Nazwa wiąże się z brunatnym zabarwieniem siana wywołanym działaniem podwyższonej temperatury. Podsuszone do wilgotności 35—40% (w 2—3 dni po skoszeniu), nie zadeszczone, siano układa się udeptując w duże kopce o wysokości ponad 2,5 m. W ciągu tygodnia temperatura wzrasta do 65—75°C, utrzymując się przez 2—3 tygodnie. Inny sposób polega na układaniu i ugniataniu wilgotnego siana w kopki o średnicy i wysokości około 1,8 m; po 3—4 dnach, gdy temperatura wzrośnie do około 70°C kopki są rozrzucone. Nagromadzone ciepło powoduje szybkie odparowanie wilgoci z siana, które następnie układa

się w większe stogi do przechowywania. Przy tej metodzie powstają znaczne straty składników pokarmowych [61] szczególnie bezazotowych wyciągowych (22,6%); ubytki suchej masy mogą się wahać od 14,3 do 30%, obniżeniu ulega strawność białka. Obecnie zamiast siana brunatnego, produkowanego raczej przy niesprzyjających warunkach atmosferycznych, stosuje się siano-kiszonki.

Doświadczenia prowadzone z sianem brunatnym wykorzystywano do badań procesów samozagrzewania się — aż do samozapłonu [17, 22].

### *Samozagrzewanie prowadzące do samozapłonu siana*

**Występowanie zjawiska.** W naturalnych warunkach siano w stogu może zagrzewać się do 50°C [5, 8] a nawet 55—60°C [61], po czym temperatura opada i dalsze składowanie odbywa się bez zakłóceń. Zdarzają się jednak przypadki dalszego wzrostu temperatury, gdzie oprócz strat składników pokarmowych, powstaje zagrożenie pożarowe.

W doświadczeniach polowych uzyskiwano temperatury 86—88°C [17], a nawet zapalenie się, chociaż nie zamierzone, jednego z doświadczalnych stogów. Niemniej dokładne określenie warunków prowadzących do samozapłonu okazało się niemożliwe. W badaniach laboratoryjnych osiągnięto zagrzewanie się siana do 165°C [22], a jak podaje Genzmer [25] dopiero w ostatnich latach udało się doprowadzić do samozapłonu siana w kontrolowanych warunkach laboratoryjnych.

- Badania nad samozapłonem zmierzają do wyjaśnienia dwóch kwestii: — czy i w jaki sposób samozagrzewanie może doprowadzić do pożaru; aspektem praktycznym byłoby opracowanie odpowiednich instrukcji zabezpieczających;
- jeśli nastąpił pożar, istotną staje się możliwość sprawdzenia — zgodnie z posiadanym stanem wiedzy — czy jego przyczyną był samozapłon siana.

O ile pierwsza kwestia ma duże praktyczne znaczenie dla rolnictwa, o tyle druga pozostaje bardziej w sferze zainteresowania służb pożarniczych.

Proces samozagrzewania może wystąpić już w 2—3 dniu po ułożeniu stogu. Powstanie zagrożenia samozapłonem jest przesunięte w czasie na ogół o 4—10 tygodni chociaż notowano pożary po upływie 6 miesięcy i dłużej [46,47]. Z danych statystycznych RFN wynika, że największe nasilenie pożarów przypisywanych samozapłonowi siana występuje w miesiącach od lipca do października [47]. Stwierdzono doświadczalnie [61], że stóg o wilgotności 40% zagrzewał się do 50°C w 3 dni, powyżej 80°C w 8 dni, a osiągnięta temperatura utrzymywała się przez około 2 miesiące. Na ogół temperatura 80—90°C była najwyższa. W warunkach laboratoryjnych [17] wilgotne siano zagrzewało się do 90—100°C po upływie

23—43 dni, przy czym temperatury powyżej 100°C osiągnano dopiero po odprowadzeniu większości wody z siana. Potem temperatura wzrastała gwałtownie, 165°C osiągnano w ciągu kolejnych 3 dni. Przebieg oraz bezpośrednie przyczyny zjawiska nie są dotychczas w pełni wyjaśnione; wiadomo, że składa się na nie zespół czynników o charakterze biologicznym, chemicznym i fizycznym.

Stadia przebiegu procesu. Analizując dostępne dane z różnych prac [17, 25, 30] można w procesie tym wydzielić kilka stadiów.

W stadium początkowym wysuszone rośliny zawierają jeszcze część żywych komórek; zachodzące w nich procesy fizjologiczne (oddychanie, działalność enzymów), są głównym źródłem wydzielania ciepła. Komórki obumierają wprawdzie gdy temperatura osiągnie 38—45°C [47], jednocześnie jednak rozwijają się procesy mikrobiologiczne, prowadzące do dalszego wzrostu temperatury. Na tym etapie, dla którego przyjmuje się graniczną temperaturę 49°C [17] nie zachodzą większe straty składników pokarmowych w sianie.

Następne stadium wiąże się głównie z intensywną działalnością mikroorganizmów. Temperatura 30—37°C sprzyja rozwojowi grzybków pleśni (np. *Oidium Lactis* i *Mucor corymbifer*), uaktywniają się również bakterie (*Bacillus subtilis*, *Bacterium coli*), których szybkie rozmnażanie następuje w temperaturze do 40°C [56]. Ze wzrostem temperatury jedne mikroorganizmy giną, natomiast powstają warunki sprzyjające rozwojowi innych — termofilnych. Grzybek pleśni *Mucor pussilus* rozwija się w temperaturze do 50°C, *Actinomyces therniphilus* jeszcze w 68°C, wreszcie bakteria *Bacillus calfactor* zaczyna się uaktywniać przy 45°C, powodując intensywny przyrost temperatury w warstwie siana, a ginie dopiero w temperaturze 70—80°C.

Należy zaznaczyć, że oprócz temperatury rozwój różnych mikroorganizmów zależy od zawartości wody w sianie. Zostało stwierdzone [17, 56], że grzyby intensywnie rozwijają się już przy wilgotności siana około 25%, natomiast optymalne środowisko dla bakterii i aktynowców (*Actinomyces*) stwarza wilgotność siana ponad 40%. Ponadto grzyby mają mniejsze zapotrzebowanie na tlen niż bakterie, co umożliwia ich rozwój, mimo ubytku tlenu na skutek zagrzewania się i mniejszego dostępu O<sub>2</sub> przy silnym ugnieceniu siana. Temperatura 70—80°C jest krytycznym punktem, do którego przekroczenia nie powinno się dopuszczać. Wprawdzie nie zachodzą jeszcze okoliczności powodujące samozapłon, lecz oprócz gwałtownego obniżenia strawności białka, mają miejsce negatywne zmiany smakowe w sianie.

Zaistniałe warunki inicjują dalsze egzotermiczne procesy chemiczne, głównie reakcje utleniania [25, 56] przeważające na tym etapie. Między przejściem od zagrzewania się mikrobiologicznego do chemicznego nie



ma wyraźnej granicy. U podłoża tych dość skomplikowanych procesów leżą zmiany w materiale spowodowane rozkładem składników odżywczych (węglowodany, białko), zaawansowanym już w pierwszym okresie działaniem mikroorganizmów, zjawiskami kondensacji polimeryzacji. Siano silnie zagrzane wykazuje wzrost kwasowości i wywołany tworzeniem się kwasów organicznych lotnych (mrówkowy, octowy) i nielotnych (bursztynowy, mlekowy, jabłkowy). W doświadczeniach Festensteina [22] wzrost temperatury od 68 do 165°C obniżał pH siana od 6,2 do 3,8.

W wyniku inicjujących się wzajemnie i nakładających na siebie reakcji powstają tlenki lub sole metali, głównie manganu a także żelaza, działające następnie jako katalizatory dalszych procesów egzotermicznych.

Zawartość związków metali jest znacznie wyższe w sianie z drugiego pokosu, co czyni ten materiał bardziej podatnym na możliwość samozapalenia się [56]. Również powstające na skutek termicznego rozkładu węglowodanów mniejsze cząstki o właściwościach redukcyjnych, silnie absorbujące tlen, są uznawane za czynnik prowadzący do samozapłonu siana [17, 56].

Po osiągnięciu temperatury 100°C, uznawanej za punkt krytyczny, siano już dostatecznie wysuszone ulega suchej destylacji. Następuje zwęglanie źdźbeł i listków, wytwarzane są lotne, łatwo utleniające się składniki (olejki eteryczne) i wydzielają się znaczne ilości ciepła powodując wzrost temperatury do 280—320°C; jest to już strefa samozapalenia (żarzenia) się. Temperatura ta może być osiągnięta w ciągu kilku godzin, a przy dostępie powietrza następuje wybuch płomieni. Przy procesie zbliżonym do suchej destylacji, przebiegającym w warunkach ograniczonego dostępu powietrza, nagły dopływ powietrza może spowodować samozapłon już w temperaturze około 150°C [61].

W niektórych opracowaniach [33, 61] spotyka się pogląd że pierwotne zmiany, wywołujące swoisty wzrost temperatury w sianie, są rezultatem działania zawartych w komórkach roślin enzymów. Enzymy odporne na działanie wyższych temperatur, inicjują przebieg dalszych reakcji chemicznych utleniania z wydzielaniem się znacznych ilości ciepła.

R o l a c z y n n i k ó w f i z y c z n y c h w s t o g u. Istotne znaczenie mają współzależne od siebie zjawiska fizyczne wewnątrz stogu: bilans ciepła, napowietrzenie i ruch wilgoci. Zjawiska te badali i opisali Currie i Festenstein [17, 22].

O bilansie ciepła decyduje intensywność wydzielania się ciepła, zależna od zawartości wody i ruchu powietrza w masie siana; temperatura otoczenia nie ma większego znaczenia. Samozagrzewanie się, zarówno w stadiach początkowych jak w temperaturach powyżej 70°C, jest warunkowane odpowiednio wysoką wilgotnością siana; siano wilgotne wy-

dziela ciepło szybciej niż suche. Ze wzrostem temperatury zawartość wody ulega stopniowemu obniżaniu, zaś proces zagrzewania się wilgotnego siana zmienia się w zagrzewanie suche, stwarzające możliwość osiągnięcia punktu samozapłonu. Wbrew powszechnemu mniemaniu siano wilgotne nie zapala się. Nadmiar wody w sianie prowadzi jednak do powstania warunków beztlenowych.

Zostało stwierdzone, że zapotrzebowanie na tlen i tworzenie się  $\text{CO}_2$  są największe w mikrobiologicznym stadium zagrzewania się. Wydzielanie  $\text{CO}_2$  wskazuje dwa wyraźne szczyty — w temperaturze  $40^\circ$  i  $60^\circ\text{C}$ , co odpowiada nasilonej działalności różnych grup mikroorganizmów. Powyżej  $60^\circ\text{C}$  zapotrzebowanie na tlen maleje.

Stopień napowietrzenia poprzez dyfuzję zależy od wymiarów stogu i stopnia ugniecenia — gęstości siana. Jak wynika z badań i obliczeń [17] przy promieniu stogu 2,7 m napowietrzanie w jego środku może być niewystarczające, lecz wówczas samozagrzewanie się może następować sferycznie wokół centralnej strefy beztlenowej. Strefa taka zachowuje się jak usytuowane centralnie „ujemne źródło ciepła” i przy dostatecznie dużej masie może powstrzymać niebezpieczny wzrost temperatury w stogu. Występowanie takiego beztlenowego rdzenia potwierdza praktyka: obserwowane samozapalenia się stogów następowały najczęściej w pobliżu „kanałów” ułatwiających dostęp powietrza z zewnątrz w głąb stogu.

Podgrzanie 1 kg siana o wilgotności 45% od  $20$  do  $100^\circ\text{C}$  wymaga doprowadzenia około  $200 \times 10^3\text{J}$ , zaś ilość ciepła niezbędna do odparowania zawartej w tym sianie wody jest około 5-krotnie większa [17]. Nic dziwnego zatem, że osiągnięcie w stogu temperatury  $90$ — $100^\circ\text{C}$ , przy której siano jest już prawie wysuszone, może trwać nawet kilka tygodni. Po przekroczeniu tego poziomu dalszy wzrost temperatury zachodzi znacznie szybciej, a może być nawet gwałtowny.

Ruch wilgoci od środka na zewnątrz stogu następuje drogą dyfuzji, wywołanej wzrostem ciśnienia cząsteczkowego pary wodnej wraz z temperaturą wewnątrz stogu. Różnica ciśnień, a zatem strumień pary wodnej, są proporcjonalne do odległości (wymiaru liniowego). Dlatego też z dużego stogu wilgoć uchodzi znacznie wolniej.

Przemieszczająca się z wnętrza ku ścianom stogu para wodna, może ulegać skraplaniu. Uwolnione przy tym ciepło utajone będzie powodować przyrost temperatury zewnętrznych warstw, zwiększając izolację cieplną wnętrza stogu. Ciepło wyzwolane jest także na skutek kondensacji wywołanej zwiększoną aktywnością osmotyczną cukrów prostych, powstałych w rezultacie rozkładu węglowodanów nie wykazujących potencjału osmotycznego.

Suche siano ma właściwości termoizolacyjne. Ze wzrostem zawar-

tości wody przewodność cieplna masy siana zwiększa się. Powyżej wilgotności około 36%, odpowiadającej równowagowo 97% wilgotności względnej powietrza, przewodność cieplna masy siana wzrasta gwałtownie ze względu na wymianę (ruch) pary wodnej. W tych warunkach temperatura stogu na ogół utrzymuje się na granicy wyznaczonej przez procesy mikrobiologiczne, zaś wzrost jej następuje dopiero ze spadkiem wilgotności siana. Przewodność cieplna siana w małym stopniu zależy od temperatury.

**Występowanie samozapłonu.** Typowym objawem poprzedzającym samozapłon jest utworzenie gorącego „gniazda” tłącego się, zwęglonego siana, które przy dostępie powietrza zapala się płomieniem. Wokół tłącego się gniazda powstaje powłoka z nadwęglonego siana, otoczona z zewnątrz sianem nie uszkodzonym. W warstwie siana graniczącej z powłoką występują zazwyczaj liczne zarodniki pleśni [61], której rozwój inicjował samozagrzewanie. Powłoka utwardzona przez lotne związki wydestylowane z tłęcej się masy przypomina konsystencją torf i działa izolująco utrudniając odprowadzenie nagromadzonego ciepła.

Przy braku dostępu powietrza następuje spopielenie masy roślinnej w gnieździe na popiół o charakterystycznym jasnym, prawie białym zabarwieniu [56] świadczącym o suchej destylacji. Żar z gniazda może przemieszczać się w masie siana tzw. kanałami ogniowymi, najczęściej na spodzie stogu; kanały tworzą się w luźniej ułożonym materiale, prawdopodobnie ze względu na znajdujące się tam powietrze. W kanałach zazwyczaj powstają następne gniazda.

Nagromadzone w tylącym się, zamkniętym skorupą gnieździe gazy stopniowo torują sobie drogę na zewnątrz stogu. Powstaje tym samym możliwość dostępu powietrza, co doprowadza do wybuchu płomieni obejmujących szybko masę siana. W tej fazie istotną rolę przypisuje się katalizującemu działaniu żelaza piroforycznego, powstającego podczas destylacji [56, 61].

W pewnych warunkach narastające ciśnienie gazów w zarzającym się ośrodku może doprowadzić do gwałtownego ich ujścia poprzez wytworzenie się w sianie kanałów dymnych, lub wybuch, wywołany mieszaniną lotnych produktów destylacji i powietrza. Zjawisku temu towarzyszą detonacje: pierwsza spowodowana oswobodzeniem się gazów, druga wybuchem mieszaniny gazów z powietrzem [56]; przy dużej masie siana zgromadzonej np. w stodole, detonacje mogą nastąpić kilkakrotnie. Wybuch wyrzuca obłok jasnego lub ciemnego dymu, a w chwilę potem ukazują się długie, jasne płomienie.

● Nawet zaawansowany proces zagrzewania się siana nie zawsze prowadzi do samozapłonu i pożaru. Zauważenie w porę objawów poprzedza-



jących samozapalenie się stogu umożliwia podjęcie skutecznych działań interwencyjnych. Sygnałem wewnętrznego żarzenia się może być zapadnięcie się, zmniejszające objętość nie naruszonego stogu. Niektórzy autorzy [61] zwracają uwagę na wyraźnie wyczuwalny zapach wydzielający się z siana, przypominający zapach prażonego jęczmienia lub kawy, znacznie intensywniejszy od normalnego zapachu siana. Niezbędna jest wówczas rozbiórka stogu, poczynając od górnych warstw, z zachowaniem szczególnych środków ostrożności ppoż., ugniataniem zagrożonych miejsc i użyciem wody. Przy stwierdzeniu podobnych objawów w masie siana składowanego w budynku, konieczne jest niezwłoczne wezwanie straży ogniowej.

Niezależnie od działań interwencyjnych w sytuacji krytycznej, największy nacisk należy położyć na świadome zapobieganie zagrożeniu.

#### *Samozapłon a inne przyczyny pożarów siana*

Procesy chemiczne zachodzące w ostatniej fazie przed samozapłonem siana są charakterystyczne [56]; m.in. w wyniku suchej destylacji powstaje olej kreozotowy. Analiza laboratoryjna resztek siana, struktury i składu materiału zwęglonego i popiołu a także oględziny miejsca pożaru przez specjalistów pozwalają z dużym prawdopodobieństwem określić, czy pożar nastąpił w wyniku samozapłonu, czy też innych przyczyn zewnętrznych.

Przyczyną pożarów stogów czy stodół z sianem może stać się instalacja elektryczna. Niewłaściwe wykonanie, uszkodzenie instalacji w budynku, przeciążenie przewodów, brak odpowiednich zabezpieczeń, nieprawidłowe podłączenie silników do sieci, uszkodzenie złączy przedłużających kable, zła izolacja itp. okoliczności mogą doprowadzić do silnego zagrzewania i zapalenia instalacji, co w bezpośredniej obecności żdźbeł wysuszonego materiału roślinnego grozi rozprzestrzenieniem ognia.

Przy sztucznym dosuszaniu szczególnie ważne jest zabezpieczenie wyłączające silnik przy chwilowej przerwie w dopływie energii lub braku napięcia w jednej z faz. Ocieranie czy zablokowanie wirnika wentylatora o obudowę spowodowane wygięciem łopatek wirnika, wgnieceniem obudowy lub dostaniem się do wentylatora kamienia, drutu itp., stwarza również potencjalne zagrożenie [5].

Znane są również z praktyki przypadki pożarów spowodowanych działaniem maszyn rolniczych, zwłaszcza dmuchaw, stertników i sieczkarń stosowanych do załadunku siana. Szczególną uwagę [34] zwrócono na działanie dmuchaw ssąco-tłoczących, w których materiał przechodzi poprzez komorę wirnika.

Początkowo przypuszczano, że iskry powstające przy zderzeniu stali z kamieniem stwarzają możliwość pożaru. Okazało się jednak, że ilość

ciepła i czas ich trwania nie są wystarczające do spowodowania zapłonu siana.

Niewłaściwa konstrukcja wału wirnika, przy znacznych obrotach, powoduje nawijanie się na jego końcówce źdźbeł siana, które w wyniku tarcia o metal zagrzewają się aż do punktu zapłonu. Szczególnie łatwo nawija się siano nie w pełni wysuszone, tworząc silnie ugniecione aglomeraty, zaś intensywne tarcie o części maszyny szybko doprowadza do ich żarzenia. Żarzące się źdźbła tracą na objętości i spójności, część z nich, lub cała „kula”, odrywa się i dostaje do rurociągu dmuchawy. W badaniach modelowych [34] czas żarzenia się cząstek, zależnie od długości przewodu dmuchawy i prędkości powietrza, wynosił od 0,64 min przy 6 m/s do ponad 35 min przy 1,4 m/s. Część tłących się cząstek mogła zatem zostać wprowadzona do warstwy składowanego siana. Tam większa część iskier gaśnie, pozostałe tlą się dłużej lub krócej; w przypadku sprzyjających warunków w pobliżu roziskrzonych cząstek strefa tlenu rozszerza się powoli od wewnątrz ku powierzchni stogu. Z obserwacji wynika, że dopiero po dłuższym czasie dawał się odczuć zapach spalenizny i lekkie dymienie ze stogu, kończące się pojawieniem płomienia.

Stwierdzono [34], że źdźbła różnych roślin łąkowych w warunkach ograniczonego dostępu powietrza tlą się lepiej lub gorzej. Na przykład słabą podatność na tlenie się wykazują źdźbła słomy i traw; krótko tlą się źdźbła rdestu leśnego (*Stachius Silvaticus*) i goździka czerwonego (*Melandrium Rubrum*), dłużej — kwaśnego rumianku (*Rumex Acetosa*) i mleczu (*Symphytum Officinalis*). Długotrwałe tlenie, podobne do lontu, charakteryzuje źdźbła tysiącznika (*Achillea Millefolium*). Różnice te tłumaczą znaczne zróżnicowanie czasu wystąpienia płomienia w czasie doświadczeń. Aby powstała strefa zapłonu, te dobrze tlące się źdźbła muszą znaleźć się w środowisku lekkich, suchych cząstek liści i kwiatostanów; jej powstanie może opóźniać się, aż długie tlące się źdźbło napotka na sprzyjające środowisko.

Odpowiednie rozwiązanie konstrukcyjne zakończenia wału wirnika dmuchawy, zapobiegające nawijaniu się siana i jego konsekwencjom, rozwiązuje problem.

Wspomina się także o innych możliwościach zagrożenia pożarowego siana od maszyn rolniczych. Uszkodzone, przeciążane lub zatarte łożyska mogą nagrzewać się do temperatury około 540°C [37], podobnie uszkodzone sprzęgła i inne elementy obrotowe. Znaczne nagrzanie na skutek tarcia może wystąpić przy poślizgach pasów klinowych, przenoszących wysokie obroty. W pewnych okolicznościach źródłem zagrożenia może stać się iskra powstała na skutek tworzenia się ładunków elektrostatycznych. Opinie co do możliwości powstania pożaru siana od układu wydechowego silników spalinowych są zróżnicowane [34, 37]. Wprawdzie

temperatura zewnętrznej powierzchni rury wydechowej ciągnika może dochodzić do 480—540°C, to jednak przy odpowiednio wyregulowanym silniku gorące, lecz pozbawione O<sub>2</sub> gazy nie powinny stwarzać sytuacji niebezpiecznych. Zagrożenia powstające bezpośrednio przy maszynie czy ciągniku są łatwiejsze do wykrycia i zlikwidowania przez obsługę. Pominięszy przypadki losowe takie jak uderzenie pioruna, przyczyną pożaru siana jest najczęściej brak nadzoru, nieostrożność i lekceważenie przepisów przeciwpożarowych (niedopałki papierosów, korzystanie z otwartego ognia itp.).

### Zapobieganie samozapłonowi siana

Zapobieganie polega na umiejętności przewidywania tego, co może okazać się groźne w skutkach i unikaniu błędów w technologii. Niezależnie od metody zbioru i suszenia wilgotność skoszonych roślin powinna być obniżona możliwie szybko i równomiernie w całej masie. Samozapłon siana, którego wilgotność nie przekracza 16—18% można wykluczyć.

**Z a b i e g i p o l o w e.** Bezpośrednio po skoszeniu siano wymaga intensywnego przetrząsania. Działanie powietrza i słońca osusza górną warstwę pokosów. W nie odwracanej części dolnej, stykającej się z ziemią, utrzymuje się wilgotny i ciepły mikroklimat stwarzający dogodne warunki do intensywnego rozwoju mikroflory, szczególnie *Bacterium Coli* [49]. Obserwowane często podczas zbioru żółto zabarwione płyty ściętej trawy, przylegające do ziemi i utrzymujące wilgoć, stanowią potencjalne gniazda zagrzewania się siana w stogu.

W celu przyspieszenia oddawania wilgoci na polu przez skoszone rośliny oraz równomiernego wysychania liści i łodyg, stosowane są specjalne zabiegi mechaniczne — zginatanie lub bijakowanie, ścierające powierzchniową warstwę kutikuli łodyg chroniącą przed wysychaniem.

Równomierna wilgotność jest szczególnie ważna przy prasowaniu siana w bele — duże i konwencjonalne o stopniu zgniotu przekraczającym 120 kg/m<sup>3</sup>.

Aby umożliwić rolnikom szybkie określenie wilgotności siana na polu próbowano różnych metod [1]. Ostatnio w Wielkiej Brytanii opracowana została metoda oparta na zasadzie odbicia promieni podczerwonych, umożliwiająca szybki pomiar wilgotności zielonki z dużą dokładnością [13]. Podczas załadunku do stert, stodół czy na strychy należy unikać przemiennego układania siana wilgotniejszego z suchym. Siano zroszone lub zadeszczone wymaga dosuszenia przed stertowaniem.

**Z a ł a d u n e k i p r z e c h o w y w a n i e.** W świeżo ułożonej masie siana, szczególnie długiego luzem, znajduje się powietrza; tlen z po-



wietrza stwarza sprzyjające warunki dla rozwoju procesów fermentacyjnych, tym samym zbyt wilgotny materiał staje się podatny na zagrzewanie. Siano niedostatecznie wysuszone lepiej jest układać w kilku mniejszych stertach, niż w jednej dużej. Badania niemieckie wykazują [56], że nawet niewielka objętościowo masa siana ( $1 \times 1 \times 0,5$  m) może stworzyć i nagromadzić ciepło grożące zapaleniem. W praktyce bierze się pod uwagę, jako stwarzające możliwość zagrożenia, partie od ok. 5 t siana, nagromadzonego w objętości np.  $3 \times 3 \times 4$  m, co daje zagęszczenie około  $140 \text{ kg/m}^3$ . Najbardziej narażone na zagrzewanie się jest siano cięte na sieczkę lub sprasowane, zamknięte w ciasnych pomieszczeniach [49].

W wielu opracowaniach zwraca się uwagę na niebezpieczeństwo powstające w wyniku wtórnego nawilgocenia siana, zgromadzonego w stercie lub pod dachem na skutek opadów lub podmakania od podłoża. Powstają wówczas idealne warunki do rozwoju mikroorganizmów termofilnych. Niektórzy autorzy [26] uważają, że wtórne zagrzewanie się stogu od góry jest mniej groźne ze względu na stały dopływ powietrza szybciej wyrównujący różnice temperatur. Natomiast niebezpieczne są gniazda zagrzewania się powstające od dołu wewnątrz stogu. Na skutek złej przewodności cieplnej możliwe są wówczas duże różnice temperatur w masie siana, trudne do wykrycia przez rolników.

Przy długotrwałych opadach i nie szczelności dachów w dobrze wysuszonym sianie może wystąpić znaczny wzrost temperatury na skutek zaciekania wody deszczowej. Zwłaszcza równomiernie opadające w jedno miejsce krople wody [46, 47], docierając w głąb masy siana przez dłuższy czas, mogą spowodować zagrożenie pożarowe, mimo, iż siano było przechowywane już przez szereg tygodni. W miejscach wtórnego nawilgocenia z reguły rozwija się pleśń [61].

**K o n t r o l a t e m p e r a t u r y.** Istnieje zatem potrzeba stałego nadzorowania składowanego w dużej masie siana i kontroli temperatury w warstwie. Do pomiarów temperatury wewnątrz stogu najlepiej nadają się sondy termometryczne z rurki stalowej, rozkładanej na kilka członów i zakończonej ostrym szpicem; łączna długość sondy powinna wynosić co najmniej 3—3,5 m. Wewnątrz rurki sondy znajduje się termometr normalny lub tzw. maksymalny, utrzymujący wskazanie najwyższej zarejestrowanej temperatury [57]. Długość używanych do tego celu termometrów kopcowych (około 1,5 m), może okazać się niewystarczająca, zwłaszcza przy dużych wymiarach stogu. Oprócz szklanych termometrów cieczowych (głównie spirytusowych), które stosunkowo łatwo ulegają uszkodzeniom, używane są termometry bimetaliczne, działające na zasadzie różnej rozszerzalności cieplnej metali; stosuje się również termometry ciśnieniowe oraz termometry elektryczne oporowe ze wskaźnikami [23].

W ostatnich latach niektóre firmy [19, 20, 21] wprowadziły urządzenia elektroniczne zasilane bateryjnie, z możliwością jednoczesnego pomiaru temperatury w kilku punktach na długości sondy; czujniki elektryczne i elektroniczne są połączone przewodem z miernikiem i skalą cyfrową, co umożliwia zdalny odczyt temperatury w trakcie pomiaru. Ze względu na złe oświetlenie w stodołach i szopach dobra widoczność podziałki i łatwość dokonania odczytu ma istotne znaczenie. Zakresy wskazań sond pozostają najczęściej w granicach 0—150°C; czas pomiaru, zależnie od typu urządzenia, waha się od 1 do 40 minut [23, 57]. Ostre zakończenie ma ułatwiać wprowadzenie sondy w głąb warstwy siana przy jak najmniejszych oporach.

Przy braku sondy z termometrem można skontrolować temperaturę zaostrzonym stalowym prętem średnicy 8—10 mm odpowiedniej długości, wbijanym w głąb stogu [47]. Po upływie około 1/2 godziny pręt należy szybko wyciągnąć, sprawdzając dotykiem jego nagrzanie. Nagrzanie pręta odpowiadające temperaturze ręki nie powinno budzić obaw, nagrzanie utrudniające dotknięcie sygnalizuje zagrożenie. Kontrolę trzeba przeprowadzić w kilku miejscach odpowiednio do wielkości stogu. W okresie krytycznym pręty mogą pozostawać wetknięte i wyciąga się je dla kontroli.

W normalnych warunkach temperatura w stogu dochodzi do około 40°C, następnie opada. Wzrost temperatury powyżej 60°C wymaga szybkiej interwencji, sprowadzającej się najczęściej do rozbiórki stogu. W pewnych sytuacjach stosuje się wycinanie tuneli sięgających zagrożonej warstwy. Wczesne ich wycięcie umożliwia odprowadzenie nagromadzonego ciepła, hamując rozwój termofilnych bakterii; przy zbyt późnym wycinaniu otworów, podobnie jak przy rozbiórce stogu, siano podczas zetknięcia się z powietrzem może zapalić się płomieniem. Austriackie przepisy przeciwpożarowe wymagają przy tych czynnościach obecności straży ogniowej [14, 47].

Siano zagrzane do tego stopnia, nawet po przełożeniu stogu, wymaga składowania z dala od innych stogów i ciągłego dozoru.

W RFN skonstruowano apart zapobiegający samozapłonowi składowanego siana [33, 48]. Urządzenie składa się z kilku ostro zakończonych perforowanych rur metalowych wprowadzanych w miejsce silnie zażgrane, określone na podstawie pomiaru temperatur w warstwie. Do górnego końca każdej z rur jest podłączony zbiornik, z którego do wnętrza rury może spływać woda. Wszystkie rury łączą się wspólnym rozgałęzieniem z otworem ssącym wentylatora. Wentylator wytwarzając podciśnienie zasysa powietrze z siana poprzez perforowane rury. Podciśnienie i temperatura siana powodują parowanie ściekającej wewnątrz rur wody; w ten sposób zostaje odprowadzone ciepło z siana. Zasysane z sia-

na gazy wraz z parą wodną zostają odprowadzane na zewnątrz elastycznym przewodem o odpowiedniej długości. Po schłodzeniu do temperatury około 60°C zmienia się połączenie z wentylatorem, który teraz tłoczy powietrze w masę siana w celu całkowitego schłodzenia. Oczywiście skuteczność użycia aparatu zależy od wykrycia wysokiej temperatury siana odpowiednio wcześnie, do czego niezbędne jest stosowanie sond termometrycznych.

Sztuczne dosuszanie przez wentylację a samozapłon siana. Dosuszanie przez wentylację skutecznie zapobiega samozapaleniu się siana co potwierdza się w większości znanych opracowań. Genzmer [24, 27] uważa nawet, że „samozapłon siana we właściwie prowadzonych gospodarstwach z urządzeniem do suszenia przez przewietrzanie jest całkowicie wykluczony”. Istotnym warunkiem powodzenia jest jednak przestrzeganie zasad budowy urządzeń, doboru wentylatorów oraz świadome unikanie błędów w technologii zbioru, załadunku i dosuszania; sprawom tym poświęcono dotychczas sporo uwagi również u nas [4, 5]. Niemniej autorzy niemieccy i austriaccy [47, 49] podkreślają rolę doświadczenia rolników pod tym względem i potrzebę stałego ich doszkalania.

Ruede [49] opisuje przypadek samozapalenia się siana na skutek wadliwego użytkowania urządzeń dosuszających. W stodole, na części rusztowej podłogi, ułożono 6-metrową warstwę siana z II pokosu, pozostawiając wzdłuż jednej krawędzi sąsiedka „kanał” umożliwiający łatwy wypływ powietrza tłoczonego przez wentylator pod ruszt — obok warstwy. W ten sposób w masie wilgotnego siana — wprawdzie ułożonej na rusztach, lecz nie przewietrzanej mimo pracy wentylatora — powstały warunki prowadzące do pożaru.

Siano jest zbierane i układane do dosuszania przy stosunkowo wysokiej wilgotności 30—45%; wilgotność ta powinna być jednak możliwie jednolita. Podczas przerw w przewietrzaniu, np. w ciągu nocy lub przy złych warunkach pogody, szczególnie w pierwszym okresie dosuszania, temperatura w masie wilgotnego materiału może wzrosnąć do 40—50°C. Wieloletnie obserwacje IBMER [5, 8] wskazują, że włączenie wentylatorów 2—3 razy na dobę na okres 30—45 minut schładza masę siana do temperatury otoczenia, zapobiegając tym samym stratom składników pokarmowych.

We wcześniejszych opracowaniach rozważano możliwość wykorzystania efektu suszącego ciepła powstającego w wyniku samozagrzewania się siana [4]. Proces oddychania roślin może dostarczyć od 25 do 60% ciepła potrzebnego do odparowania zawartej wilgoci [61]. Zważywszy jednak, że każde 14 196 kJ (3380 kcal) ciepła powstaje kosztem 1 kg masy



organicznej, głównie zawartych w roślinach węglowodanów, sposób ten nie wydaje się godny zalecania.

Przy załadunku i wyładunku ważne jest zachowanie jednakowej grubości warstwy siana. Ugniecenie, którego praktycznie nie da się całkowicie uniknąć podczas ładowania i wyrównywania warstwy, powinno być możliwie najmniejsze i jednakowe w całej masie. Miejsca wyrzutu siana z rurociągu dmuchawy są z reguły silniej zagęszczone; wilgotny jeszcze materiał roślinny jest bardzo wrażliwy na ugniatanie i udeptywanie. Podczas pneumatycznego załadunku, zwłaszcza ciętego na sieczkę siana z motylkowych, zachodzi rozdzielanie listków od łodyg. W miejscach nagromadzenia listków warunki przepływu powietrza są gorsze i istnieje możliwość zagrzewania się siana. Szczególnej uwagi wymagają pod tym względem urządzenia z pionowym kanałem powietrznym — brogi i tzw. wieże sienne [4, 36, 64].

Przy dosuszaniu powietrzem nieogrzewanym ważna jest kontrola wysychania warstwy, zależnego od temperatury i wilgotności powietrza. W Szwajcarskim Instytucie Techniki Rolniczej [2, 3] przeprowadzono z powodzeniem próby automatów sterujących pracą wentylatorów, odpowiednio do wilgotności i temperatury powietrza otoczenia i warstwy dosuszanego siana. Umieszczone na wlocie wentylatora i w warstwie siana czujniki przekazują wyniki pomiarów do skrzynki sterowniczej. O ile warunki nie zapewniają skutecznego suszenia, wentylator zostaje przestawiony na pracę przerywaną (np. przez 10 minut co godzinę), nie dopuszczającą do zagrzewania się i eliminującą niebezpieczeństwo pożaru. Jednocześnie zużycie energii zostaje znacznie zredukowane. Podobnie działające urządzenie skonstruowano w NRD [53].

Kontrola temperatury sondą termometryczną w warstwie siana przy sztucznym dosuszaniu jest również zalecana, ponieważ stwarza możliwość wczesnego wykrycia miejsc zagrzewających się na skutek słabszego przepływu powietrza. Zakończyć suszenie partii siana można po sprawdzeniu, czy po 24—48 godz. przerwie i ponownym uruchomieniu wentylatora, wypływające z warstwy powietrze nie jest nagrzane.

Reasumując można stwierdzić, że prawidłowy przebieg dosuszania i kontrola wysuszonego siana wyklucza możliwość samozapłonu. Aktywny, równomierny przepływ powietrza [15, 49] zapobiega nawet nieznacznym przyrostom temperatury. Wadliwa konstrukcja urządzeń lub błędy w sposobie dosuszania mogą prowadzić jednak do wzrostu temperatury wilgotnego materiału, zwłaszcza ciętego na sieczkę lub silnie sprasowanego. Szczególnie należy unikać zbyt wczesnego zakończenia procesu wentylacji oraz wtórnego nawilgocenia siana np. przez uszkodzony dach. Gdy na skutek niedostatecznego wysuszenia lub zamoknięcia istnieją w masie siana ogniska o temperaturze stwarzającej już bezpośrednie zagrożenie,

uruchomienie wentylatorów po dłuższej przerwie jest niebezpieczne. Intensywny dopływ powietrza może spowodować wówczas wybuch płomieni.

**Zastosowanie konserwantów.** Istnieje możliwość zakonserwowania siana o podwyższonej wilgotności za pomocą środków chemicznych, zapobiegających fermentacji a tym samym zagrzewaniu się siana [16, 54]. Od dawna znane i stosowane jest w praktyce dodawanie do wilgotnego siana soli kuchennej. Dodatek NaCl w ilości 1—3%, zależnie od wilgotności masy roślinnej, hamuje rozwój mikroflory i pozwala na przechowywanie siana. Sól, którą przesypuje się warstwy układanego w stogu lub stodole siana, nie chroni jednak całkowicie przed jego zagrzewaniem się. W doświadczeniach angielskich siano o wilgotności 27%, mimo dodatku NaCl, po 45 dniach osiągnęło temperaturę 140°C [61].

W początkach lat 1970 w związku z szerokim wprowadzaniem pras zbierających, zwłaszcza formujących duże bele, zaczęto konserwować wilgotne siano kwasem propionowym. Siano o wilgotności w granicach 30—35% spryskiwano na polu tuż przed sprasowaniem dawkami 1—3% kwasu. Pod względem skuteczności konserwowania siana działanie kwasu propionowego oceniano na równi ze sztucznym dosuszaniem [9, 54], którego zastosowanie w przypadku dużych bel nastęrczało trudności techniczne [16, 58].

Duża lotność kwasu propionowego powodowała jednak straty preparatu podczas dozowania dochodzące do 80% [58, 16] i nierównomierne jego rozprowadzenie w masie roślinnej. W związku z tym podjęto doświadczenia z mniej lotną solą amonową kwasu propionowego [10, 11, 16, 54]; straty tego preparatu podczas dozowania nie przekraczały 37% [58]. Na bazie propionatu amonu powstały różne firmowe preparaty konserwujące stosowane w praktyce przez rolników w różnych krajach [50].

Zachęcające rezultaty przyniosły doświadczenia z konserwowaniem siana sprasowanego o wilgotności 25—35% dodatkiem amoniaku ( $\text{NH}_3$ ) ciekłego lub gazowego [13, 54] w dawkach 1,7—4,0% wagowo, wprowadzanego do wnętrza dużych bel lub stogów. Amoniak wiąże wodę, dlatego też — w przeciwieństwie do suszącego powietrza — dociera samoistnie do najwilgotniejszych partii siana, nie dopuszczając do zagrzewania się. Zastosowanie  $\text{NH}_3$  jako konserwanta [54, 58], wymaga jednak szczelnego przykrywania bel folią.

Prowadzone obecnie próby zaprawiania wilgotnego (30—40%) siana mocznikiem [13, 28, 29] w formie roztworu lub granulatu w dawkach 2—6%, wykazały wyraźne działanie konserwujące a ponadto wzrost zawartości białka surowego w sianie. Przy stopniowym rozkładzie mocznika do  $\text{NH}_3$  i  $\text{CO}_2$  w sianie utrzymuje się określony poziom amoniaku, zapobiegając skutecznie fermentacji i wzrostowi temperatury.

Dobranie dawki odpowiedniej do wilgotności siana jest warunkiem skuteczności działania każdego z preparatów konserwujących. Dlatego też duży nacisk kładzie się na szybkie i dokładne oznaczanie wilgotności siana zbieranego z pola.

### Zalecenia praktyczne

W opracowaniu przedstawiono przyczyny, przebieg i sposoby zapobiegania intensywnemu samozagrzewaniu siana i stratom, jakie to zjawisko za sobą pociąga.

W celu świadomego przeciwdziałania zagrożeniom pożarowym m.in. na skutek samozapłonu, istnieje potrzeba szkolenia rolników i służby rolnej, szczególnie w rejonach o dużych powierzchniach użytków zielonych. Postuluje się [30] także wprowadzenie odpowiednich zajęć do programu szkół i uczelni rolniczych.

Przepisy [44] dotyczące zabezpieczenia przed ogniem łatwopalnego materiału jakim jest siano, powinny uwzględniać zalecenia nowoczesnych technologii zbioru, suszenia i przechowywania (prasowanie, dosuszanie przez wentylację itp.). Siano, nawet dobrze wysuszone, ułożone w dużej masie w stogach i budynkach wymaga nadzoru, zwłaszcza w pierwszych tygodniach składowania, aby nie dopuścić do nadmiernego zagrzewania, zagrażającego ogniem.

Istotne znaczenie ma zachowanie bezpiecznych odległości na wypadek pożaru między stertami czy budynkami z sianem. W doświadczeniach radzieckich [18] badano zagrożenie sąsiadujących budynków i stert przy paleniu się sterty pasz słomiatych, uwzględniając wielkość strumienia cieplnego, iskrzenie, siłę wiatru, wielkość płaszczyzny ognia itp. czynniki. Stwierdzono, że bezpieczne odległości między stertami i budynkami, zależnie od ogniotrwałości ścian, wynoszą od 30 do 50 m; w przypadku położenia od strony nawietrznej odległości te muszą być większe. Wyniki ujęto w odpowiednich dokumentach normatywnych.

W celu zapobiegania pożarom na terenie gospodarstw [48], ważne jest usuwanie resztek siana i słomy z miejsc ogólnie dostępnych, zamykanie, zwłaszcza na noc, pomieszczeń, w których składowane jest siano, sprawdzanie urządzeń i instalacji elektrycznych oraz silników spalinowych i usuwanie zaistniałych usterek, a przede wszystkim unikanie zaprószenia ognia.



## LITERATURA

1. Ahlgrimm H. J.: Landbauforschung. Völkenrode, 1977, nr 2, (97—104).
2. Automatische Steuerung für Heubelüftung. Schweizer Landtechnik, 1977, nr 1, (39).
3. Baumgartner J.: Schweizer Landtechnik, 1978, nr 2 (108—112).
4. Biłowicki J.: Mechanizacja Rolnictwa, 1968, nr 17.
5. Biłowicki J.: Mechanizacja Rolnictwa, 1971, nr 5.
6. Biłowicki J.: Post. Nauk Rolniczych, 1971, nr 4 (113—140).
7. Biłowicki J.: Sprawozd. IBMER, symb. XXII/531, 1973 (maszynopis).
8. Biłowicki J.: Nowe kierunki w technologii zbioru i suszenia zielonek na paszę. CBR, Warszawa 1973.
9. Biłowicki J.: Sprawozdanie IBMER, symb. XLII/723, 1976 (maszynopis).
10. Biłowicki J.: Sprawozdanie IBMER, symb. XLII/924, 1979 (maszynopis).
11. Biłowicki J.: Sprawozdanie IBMER, symb. XLII/892, 1979 (maszynopis).
12. Biłowicki J.: Sprawozdanie IBMER, symb. XXII/669, 1977 (maszynopis).
13. Biłowicki J.: Nowe Rolnictwo, 1982, nr 6.
14. Brandverhütungsstelle für Oberösterreich. Linz (ulotka).
15. Bronsztein J. L., Szamuzov M. S.: Mechanizacija i Elektryfikacija Socj. Selesk. Chozj., 1977, nr 12.
16. Charlick R. H. i inni.: Journ. agric. Engineering Res., 1980, 25 (87—97).
17. Currie J. A., Festenstein G. N.: Journ. of the Science of Food and Agriculture. 1971, nr 5, (223—230).
18. Danilenko A. S.: Životnovodstvo. 1974, nr 8.
19. DLG Prüfbericht 2976: Greisinger Mehrpunkt Heumesssonade. 1981.
20. DLG Prüfbericht 3061: Ultrakust Temperaturmessgerät Thermophil Pyp 4445—3. 1981.
21. DLG Prüfbericht 2985: Elektronische Heu-Messsonde Schwarting. 1981.
22. Festenstein G.: Journ. of the Science of Food and Agriculture. 1971, nr 5 (231—234).
23. Fischer K.: Schweizer Landtechnik. 1976, nr 8 (459—461).
24. Genzmer W.: Landmaschinen Markt, 1970, nr 23 (24—27).
25. Genzmer W.: Mitteilungen der DLG, 1973, nr 42 (1189—1190).
26. Genzmer W.: Mitteilungen der DLG. 1973, nr 24 (684—686).
27. Genzmer W.: Mitteilungen der DLG. 1979, nr 2 (91—92).
28. Ghate S. R., Bilanski W. K.: Transactions ASAE, 1979, nr 3, (504—506).
29. Ghate S. R., Bilanski W. K., Winch J. E.: Transaction ASAE, 1981, nr 3 (564—567).
30. Glathe H.: Mitteilungen der DLG. 1956, nr 21 (508—509).
31. Griogriev A. A., Miklina S. F.: Technika v Selskom Chozjajstve, 1980, nr 7.
32. Kozłowski A.: Bezpieczeństwo Pracy, 1973, nr 3 (2—5).
33. Koegel R. G., Bruhn H. D.: Inherent causes of spontaneous ignition in silos. ASAE Paper, nr 69—164, 1969.
34. Krepela W.: Landtechnik, 1963, (470—473) nr 14.
35. Keine Entschädigung bei Heuselbstentzündung. Deutsche Landwirtschaftliche Presse, 1974, nr 15 (3).
36. Müller K.: Feldwirtschaft, 1982 nr. 4 (151—154).
37. Nawrocki W. T.: Agricultural Engineering, 1974, nr 3 (28—29).
38. Nelson L. F.: Transactions ASAE, 1966, nr 4 (509—512).

39. Nelson L. F.: Transactions ASAE, 1968, nr 5 (595—600).
40. Nelson L. F.: Transactions ASAE, 1972, nr 2 (201—205).
41. Nowak M.: Przegląd Hodowlany, 1970, nr 6 (10—11).
42. Norén O.: Informacja pisemna. JTI, Ultuna-Uppsala, 1981.
43. Pabis S.: O możliwości wystąpienia samozapłonu siana. IMER, 1964 Warszawa (maszynopis).
44. Pismo okólne nr 15 Ministra Rolnictwa z dnia 6.V.1960. Biuletyn Ministerstwa Rolnictwa nr 7, poz. 42, maj 1960.
45. Pruski W.: Nowe Rolnictwo, 1961, nr 18.
46. Rehrl K.: Mitteilungen der DLG, 1972, nr 12 (296—299).
47. Rehrl K.: Praktische Landtechnik, 1971, nr 9 (14—15).
48. Rohlf s C.: Der Tierzüchter, 1974, nr 12 (556—558).
49. Ruede L.: Deutsche Landwirtschaftliche Zeitschrift, 1960, nr 4 (123—124).
50. Rauramaa A.: Journ. scient. agric. Soc. of Finland, 1981, 53 (100—108).
51. Schröder A.: Feldwirtschaft, 1979, nr 5 (212—213).
52. Shepperson G.: Journ. agric. Engineering Res. 1956, nr 2.
53. Schröder A., Knabe O.: Feldwirtschaft, 1982, nr 4 (154—156).
54. Sonnenberg H.: Technische Lösungen der Konservierung von Heu-Grosballen durch Belüftung und chemische Hilfsmittel. FAL, Braunschweig-Voelkenrode, 1980 (maszynopis).
55. Stössel M.: Deutsche Agrartechnik, 1966 nr 6 (276—279).
56. Specht W., Katto W.: Begutachtungsgrundlagen bei Selbstentzündung von Heu und Grünmehl. Das Bayerische Landeskriminalamt, München, 1952 (maszynopis).
57. Temperturmessung verhindert Selbstentzündung. Landmaschinenwelt nr 9 (12—14), 1976.
58. Theune H. H.: Landbauforschung, Voelkenrode, nr 2, 1978 (106—107).
59. Vámosi J.: Takarmánybasis, 1970, nr 1 (113—133).
60. Van Schreven D. A.: Netherlands Journal of Agric. Science, nr 3, 1956 (265—279).
61. Watson S. J., Nash N. J.: Konserwowanie roślin pastewnych. PIWRiL, Warszawa 1971.
62. Weeks S. A., Owen F. G., Petersen G. M.: Transactions ASAE, 1975, nr 6 (1065—1069).
63. Wójcik J., Dwojak J.: Wiadomości Melior. i Łąkarskie. 1975, nr 5 (142—143).
64. Žvigurs J.: Pozarnoje Delo, 1970, nr 11 (25).