

W P Ł Y W K L I M A T U N A O K R E Ś L A N I E W Y M I A R Ó W U R Z Ą D Z E Ń D O S U S Z E N I A S I A N A

W A L T E R M A L T R Y

Instytut Techniki Rolniczej w Potsdam-Bornim
(pod dyrekcją prof. dr S. Roseggera)

1. P O D S T A W Y

Z a g a d n i e n i e

Technika suszenia, zwłaszcza siana i zboża, przy pomocy nieogrzewanego powietrza znajduje coraz szersze zastosowanie. Stąd też, ze względów gospodarczych, wynikła konieczność określenia również i w tej dziedzinie ważnych dla projektowania wytycznych wartości, jak np. wartości odnoszących się do wydajności przedmuchu i wymiarów urządzeń na podstawie istotnych klimatycznych i technicznych warunków suszenia.

Dotychczas niemal bezkrytycznie przenoszono wytyczne zdobyte w doświadczeniu w pewnej miejscowości o określonych warunkach klimatycznych do innej miejscowości o zupełnie odmiennych warunkach.

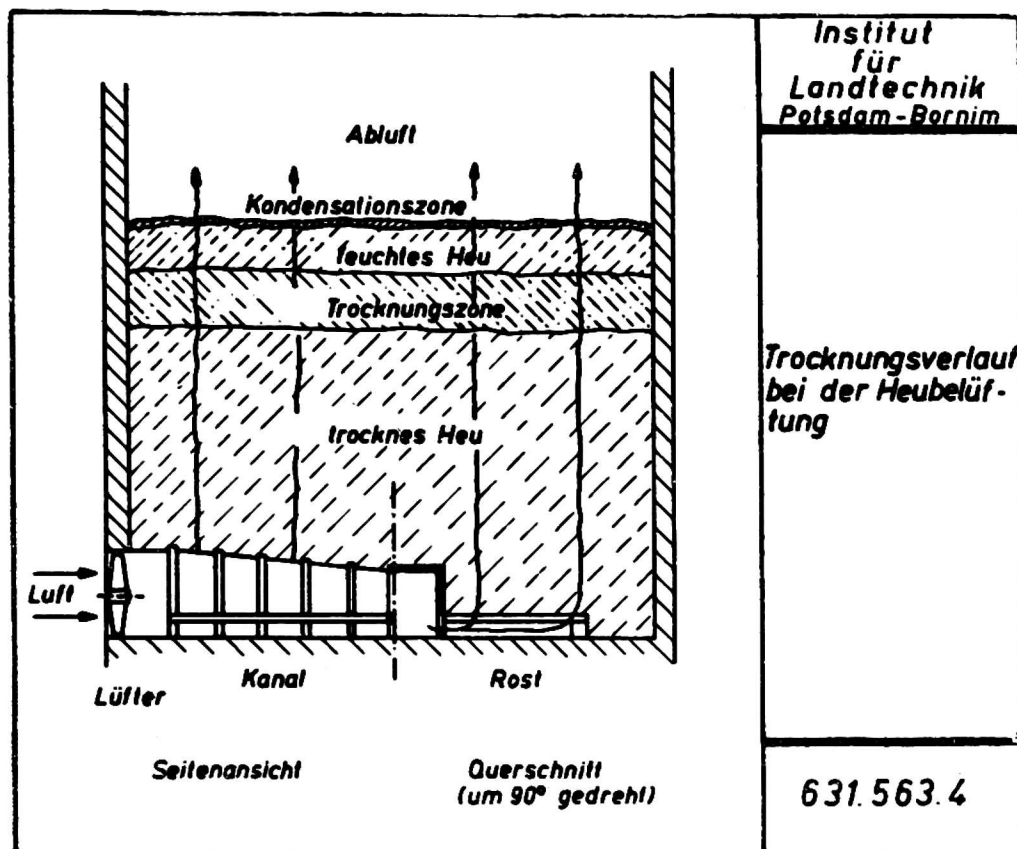
W dalszym ciągu tej pracy postaramy się ustalić na podstawie metod statystycznych liczbowe wytyczne odnoszące się do wielkości urządzeń przedmuchujących; połączymy przy tym przebieg suszenia siana z prognozą pogody. Zestawienie i ocenę warunków atmosferycznych opracowała pani Dypl. Met. Lenk.

1. P r z e b i e g s u s z e n i a p r z y p r z e w i e t r z a n i u s i a n a

Na rysunku 1 przedstawiono normalne urządzenie do przewietrzania siana. Składa się ono z wentylatora, przewodu i rusztów. Suche powietrze z atmosfery wtlaczane jest od dołu w stos siana i w trakcie przyływu prądu powietrza przez siano wchłania zawartą w nim wodę.

W stosie można rozróżnić trzy różniące się między sobą warstwy siana: Dolna warstwa składa się z wysuszonego już siana, które z wtlaczanym powietrzem nie przeprowadza poważniejszej wymiany wilgotności. Nad tą warstwą leży właściwa, powolnie ku górze wędrująca strefa schnącego siana, w której powietrze przesyca się wilgotnością, a siano schnie. Na końcu znajduje się warstwa jeszcze wilgotnego siana, w której wilgoć równowazy

się z wilgotnym już powietrzem. Tam już nie występuje wymiana wilgoci. Przy niesprzyjających warunkach na przykład, jeżeli wpływ powietrza jest ciepły, a stodoła chłodna, mogą w górnej warstwie siana wystąpić nawet zjawiska kondensacyjne, które jednak ustają w chwili, gdy



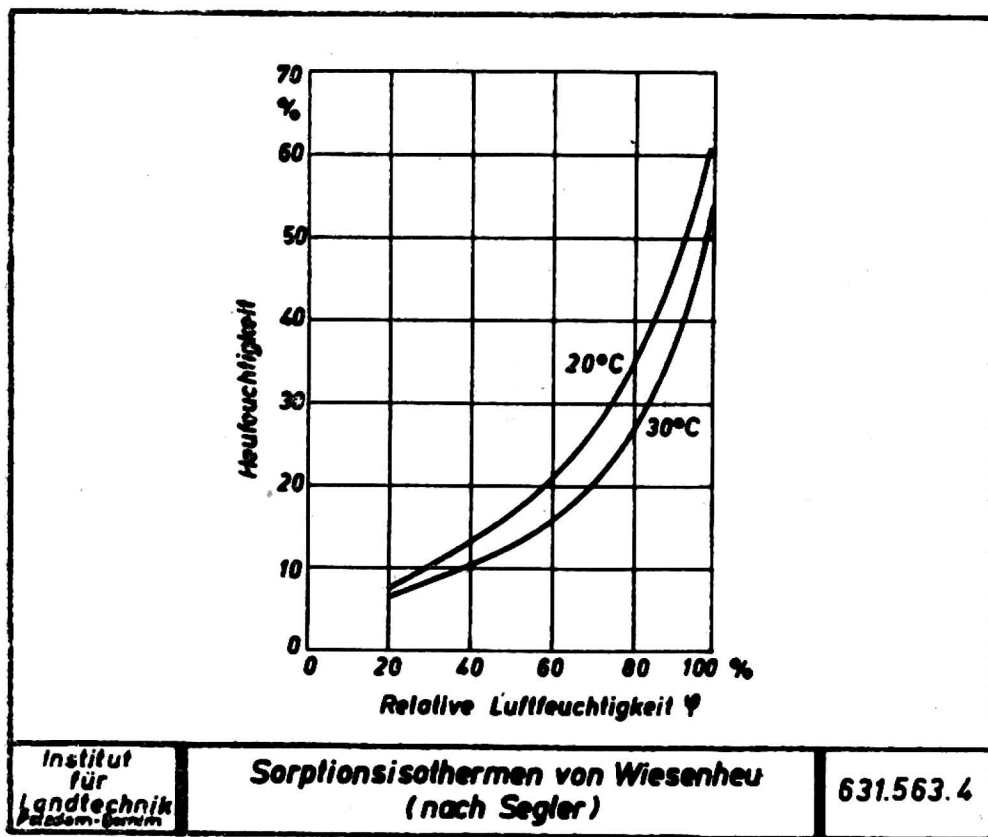
Rys. 1. Przebieg suszenia przy przewietrzaniu siana
Hay drying process under ventilation

strefa suszenia przenosi się ku górze i dosięga górnej powierzchni nawarstwionego siana, a tym samym likwiduje trzecią strefę. Szybkość przesuwania się strefy suszenia jest w pierwszym rzędzie funkcją szybkości przepływu powietrza, przy czym wilgotność zewnętrznego powietrza wywiera tylko nieznaczny wpływ.

2. Związek między zawartością wody a wilgotnością powietrza

Każde suszenie zależy z jednej strony od stanu suchości powietrza, z drugiej zaś strony od zawartości wody w danym materiale. Bardzo wilgotny materiał jeszcze w stosunkowo wilgotnym powietrzu pozbywa się części wody, natomiast suchy materiał wymaga do dalszego suszenia bardzo suchego powietrza. Każdej wilgotności materiału odpowiada ściśle określona wilgotność powietrza, przy której powietrze i materiał będący przedmiotem suszenia pozostają w równowadze. Dlatego też nadzwyczajne znaczenie dla praktyki ma znany wykres (rys. 2) przedstawiający krzywą równowagi wilgotności (krzywa sorpcyjna). Można zdecydować na jej podstawie, czy wprowadzenie w ruch urządzenia do przewietrzania opłaca się, czy też nie. Przykład: suszące się siano posiada przy 20° C 35% zawar-

tości wilgoci. Z diagramu widać, że dla wysuszenia siana powietrze może mieć względną wilgotność maksymalną 80%. Przy wyższej względnej wilgotności występuje przeciwieństwo, a więc zwilgotnienie siana.

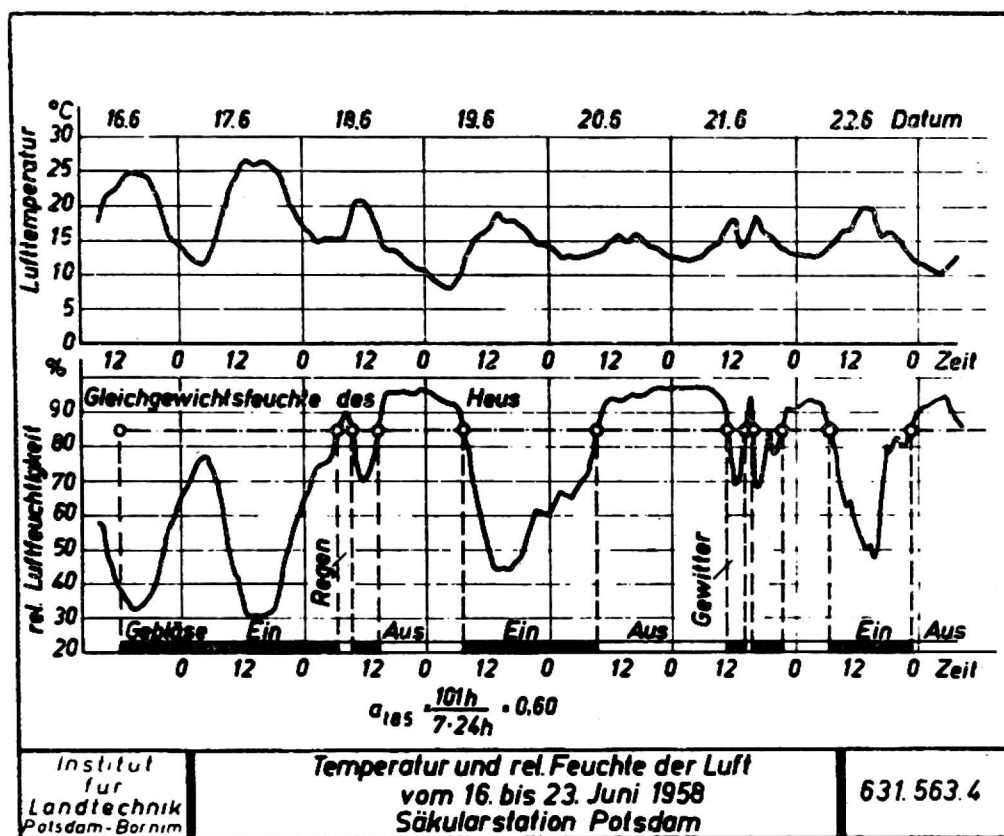


Rys. 2. Krzywa równowagi wilgotności
Curve of moisture equilibrium

3. Wahania pogody

W ciągu jednego okresu przewietrzenia zarówno temperatura jak i względna wilgotność powietrza ulegają znacznym wahaniom. Z tego też powodu można wykorzystać dla suszenia tylko określony odcinek czasu. Celem oszacowania najbardziej korzystnego okresu czasu należy przyjrzeć się bliżej wykresowi na rys. 3, gdzie określony został taki odcinek czasu dla całkiem normalnego tygodnia czerwcowego. Jeżeli urządzenie napełnione jest sianem o zawartości wody 40%, odpowiada to (przy 20°C) — jeśli chodzi o równowagę — wilgotności powietrza wynoszącej około 85%. Wilgotność uchodzącego powietrza, jakieśmy to widzieli w rys. 1, znajduje się praktycznie podczas całego trwania przewietrzenia w stałej równowadze z wilgotnym sianem. Przy wilgotności powietrza poniżej 85% występuje przeto efekt schnięcia, który oczywiście jest tym większy im suchsze jest powietrze. Jeśli natomiast wilgotność powietrza wzrośnie powyżej 85%, w takim razie należy wyłączyć przepływ powietrza w urządzenie do przewietrzenia siana, gdyż w przeciwnym wypadku siano stanie się bardziej wilgotne. (Wyjątek stanowi świeżo zwiezione siano, które niezależnie od wilgotności powietrza powinno być przewietrzane dniem i nocą).

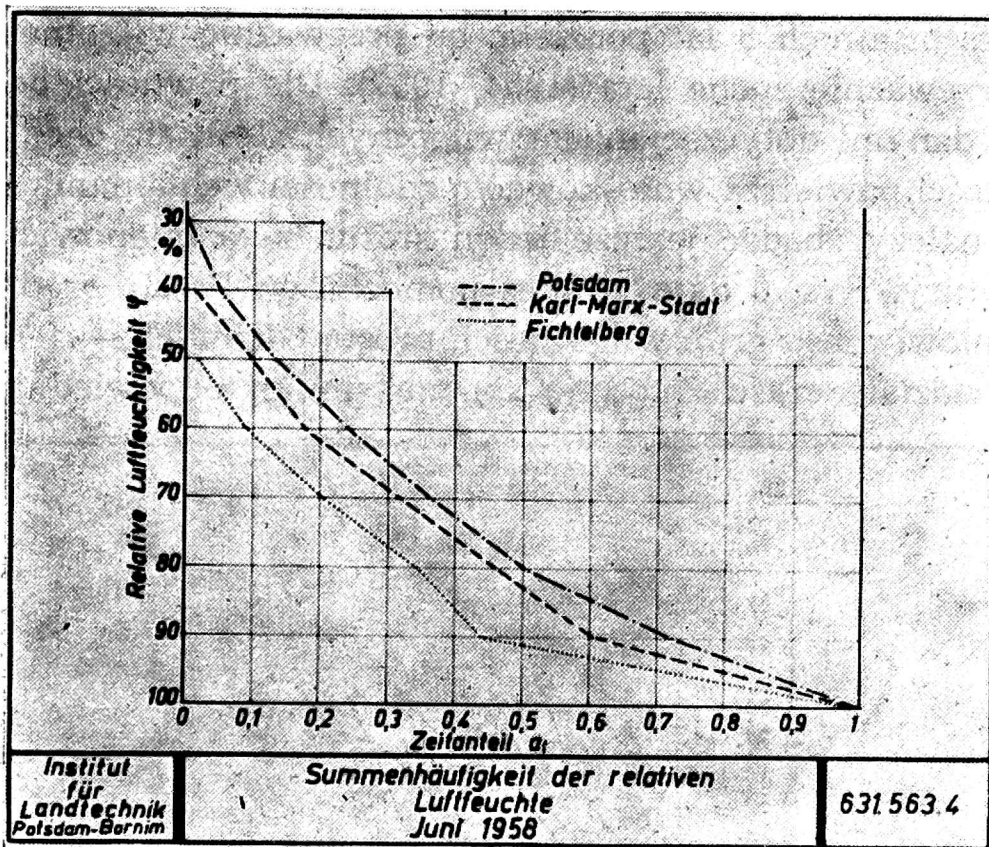
Na wykresie 3 można objaśnić obrazowo czynnik czasu ε_t , który w poniższych rozważaniach odegra ważną rolę. Jest on sumą (miejsca wypełnione czarnym tuszem) okresów włączania podzieloną przez rozpatrywaną sumę ogólną. Można się łatwo przekonać przez przesunięcie linii równowagi wilgoci, że czynnik czasowy ε_t zależny jest od wilgotności powietrza.



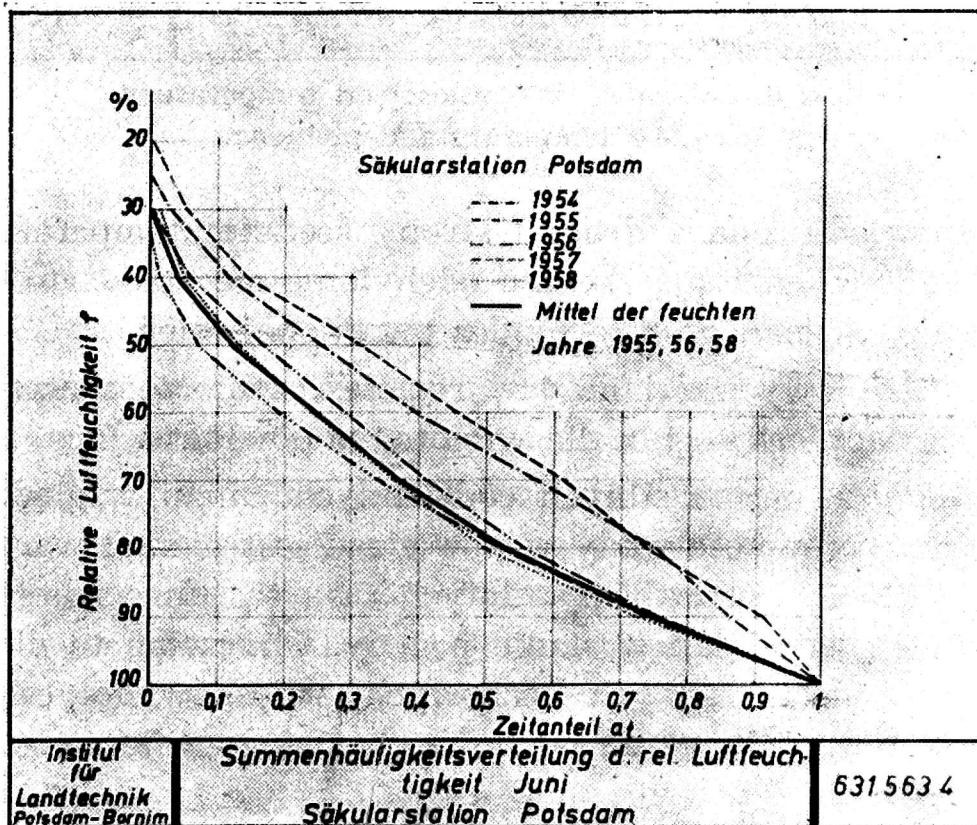
Rys. 3. Przebieg temperatury i wilgotności powietrza w okresie 16—23 czerwca 1958 w stacji badawczej Poczdham
Air temperatures and moistures during the period June 16—23, 1958 at the Potsdam Research Station

4. Statystyczne wykorzystanie warunków klimatycznych

Dla uzyskania poprawnych danych odnoszących się do przebiegu pogody podczas okresu przewietrzania należy statystycznie opracować zmiany pogody w ciągu dłuższego okresu czasu. Dla przewietrzania znaczenie ma w pierwszym rzędzie wilgotność powietrza. Stąd też stanowią następane dwa wykresy (rys. 4 i 5) podstawę dla dalszych rozważań. Uzyskano je przez przesunięcie linii stałej wilgotności powietrza. Na wykresie 4 wykazano każdą godzinę w ciągu miesiąca czerwca 1958 roku po to, aby ustalić różniące się od siebie rejony klimatyczne. Np. jakiś punkt na krzywej odnoszącej się do Poczdamu oznacza, że podczas połowy ogólnego okresu ($\varepsilon_t = 0,5$) względna wilgotność powietrza wynosiła 80% lub mniej. Natomiast Karl Marx-Stadt posiada wilgotniejsze powietrze, a Fichtelberg jeszcze wilgotniejsze (91%). Na wykresie 5 przedstawiono charakter klimatu Poczdamu w czerwcu w ciągu wielu lat. Jak z rysunku widać,

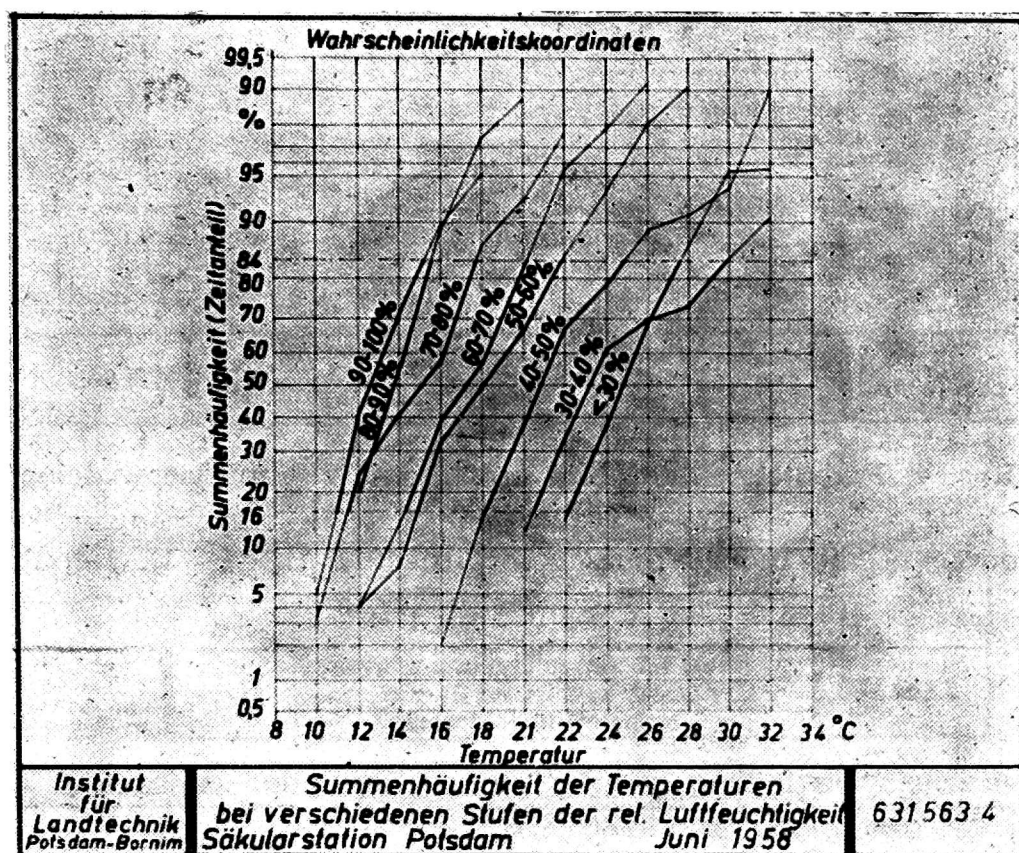


Rys. 4. Przebieg wilgotności powietrza w 3 miejscowościach w NRD
 Course of air moisture in 3 localities in the G. D. Republic



Rys. 5. Charakter klimatu Poczdamu w czerwcu na przestrzeni kilku lat
 June climate nature in Potsdam during several years

można okres ostatnich 5 lat podzielić na przeważnie wilgotne lata (1955, 56, 58) i przeważnie suche lata (1954, 1957). Dla pewności będziemy się posługiwać danymi dotyczącymi lat wilgotnych. Jeśli się chce ze względnej wilgotności powietrza wnioskować o zdolności wchłaniania wody przez powietrze, należy zbadać jeszcze jeden stosunek, a mianowicie stosunek do temperatury. Rys. 6 daje wykres pomocniczy. Prosta rzędnych odpowiada udziałowi czasu grup wilgotności, prosta odciętych — temperaturze. Przy 50% udziale czasu znajduje się maksimum odpowiedniej krzywej



Rys. 6. Zależność wilgotności od temperatury
Moisture temperature dependence

Gaussa. Odpowiada ona z drugiej strony średniej temperaturze. Linie 16% wzgl. 84% wyznaczają średnie odchylenie się od wartości średniej, tj. od zasięgu $\pm \sigma$ znanego z rachunku prawdopodobieństwa.

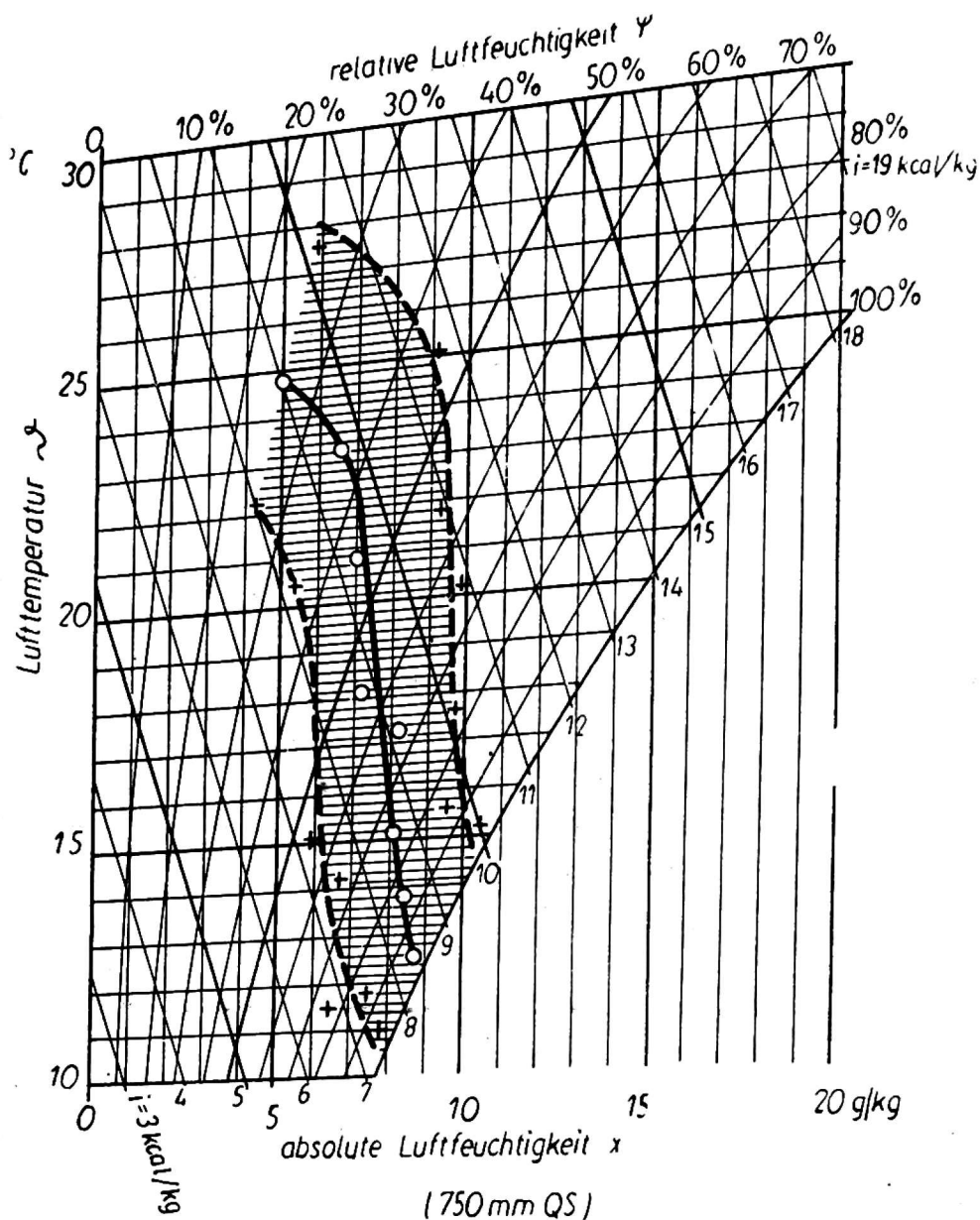
Jeszcze bardziej wychodzi na jaw rozmieszczenie temperatur na znanym wykresie Molliera — i, x dla wilgotnego powietrza (rys. 7).

Widać z tego, że mimo silnych codziennych zmian względnej wilgotności, absolutna zawartość wody w powietrzu jest niemal wartością stałą.

Wykresy, które pokazaliśmy dotychczas, są unaocznieniem statystycznie obliczonych zmian w stanie pogody. Obliczenia te nie zezwalają jednak na wysunięcie żadnych liczbowych wniosków dotyczących zdolności wchłaniania wody przez powietrze, ani jego właściwości suszenia.

5. ZDOLNOŚĆ WCHŁANIANIA WILGOTNOŚCI PRZEZ POWIETRZE

Przy przewietrzaniu siana splatają się dwa efekty, które należy przy teoretycznych rozważaniach ściśle od siebie odgraniczyć.

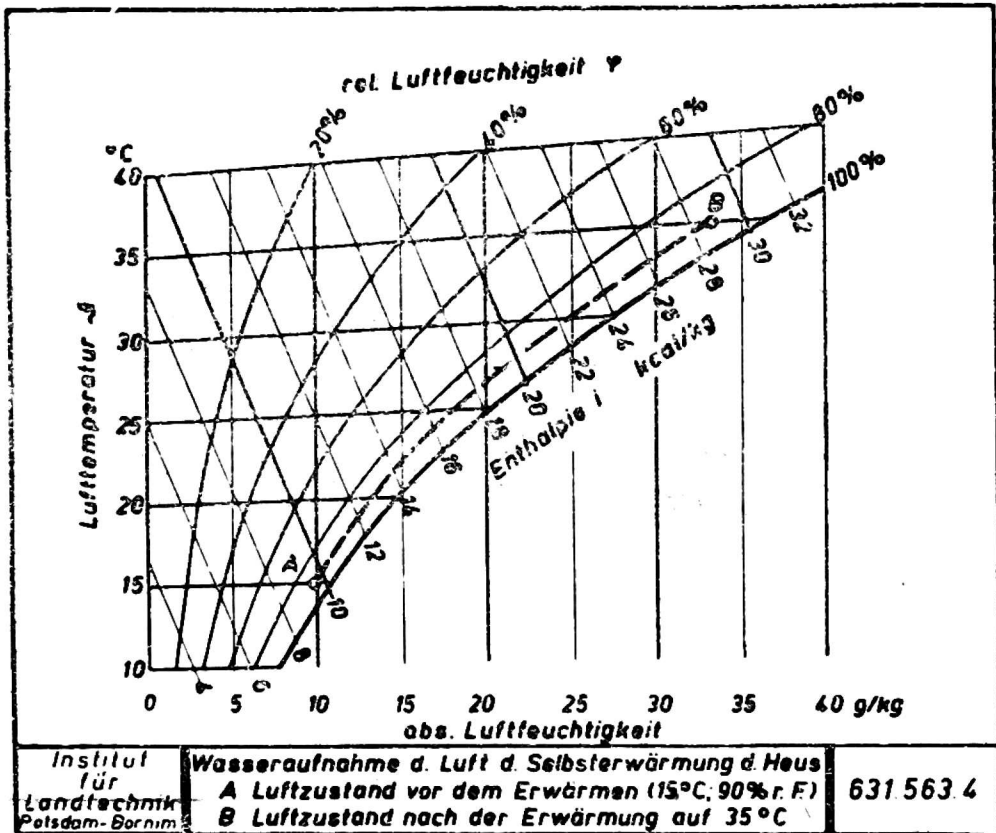


Rys. 7. Wykres Molliera
Mollier's diagram

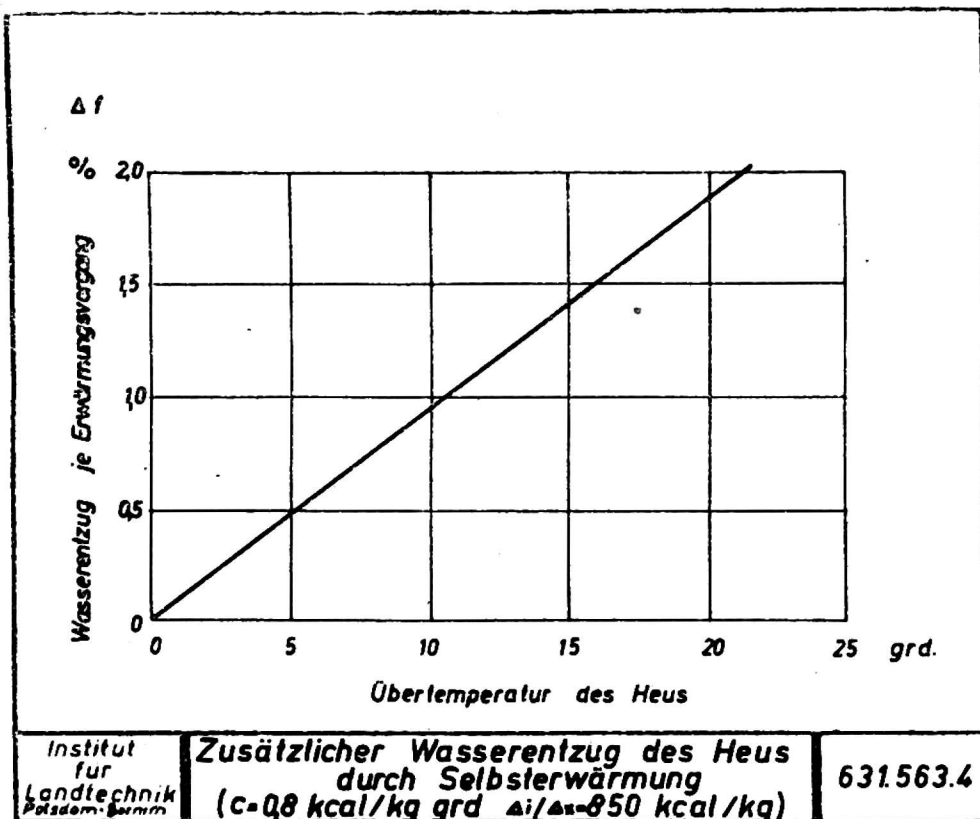
a) Wchłanianie wody przez samoczynne ogrzanie

W żyjących jeszcze komórkach, na skutek biologicznych zmian wyzwala się ciepło zawarte w sianie. Przy niesprzyjających warunkach rozgrzewa się siano nawet do tego stopnia, że może samoczynnie wybuchnąć pożar. To samoczynne ogrzewanie, prowadzące do suszenia, jest jednym z rezultatów. Na wykresie 8 przedstawiono wyidealizowany obraz tego procesu. Jeśli się ogrzeje świeże siano np. do temperatury 35°C i wtłoczy do niego powietrze o temperaturze 15°C i 90% względnej wilgotności, to zbierają się duże ilości ciepła; jak widać początkowo przeszło 20 g na kg powietrza, w środku przeszło 10 g na kg. Z dającego się wyczuć ciepła siana można śmiało wnioskować o oczekiwanym efekcie suszenia; rys. 9 podaje związek między nadmierną temperaturą a rozmiarami wysuszenia.

Efekt suszenia na skutek samoczynnego ogrzewania tylko w bardzo nieznacznym stopniu zależy od pogody; jest on raczej właściwością siana.



Rys. 8. Wysychanie siana przez samoogrzewanie się
Drying of hay by self-heating

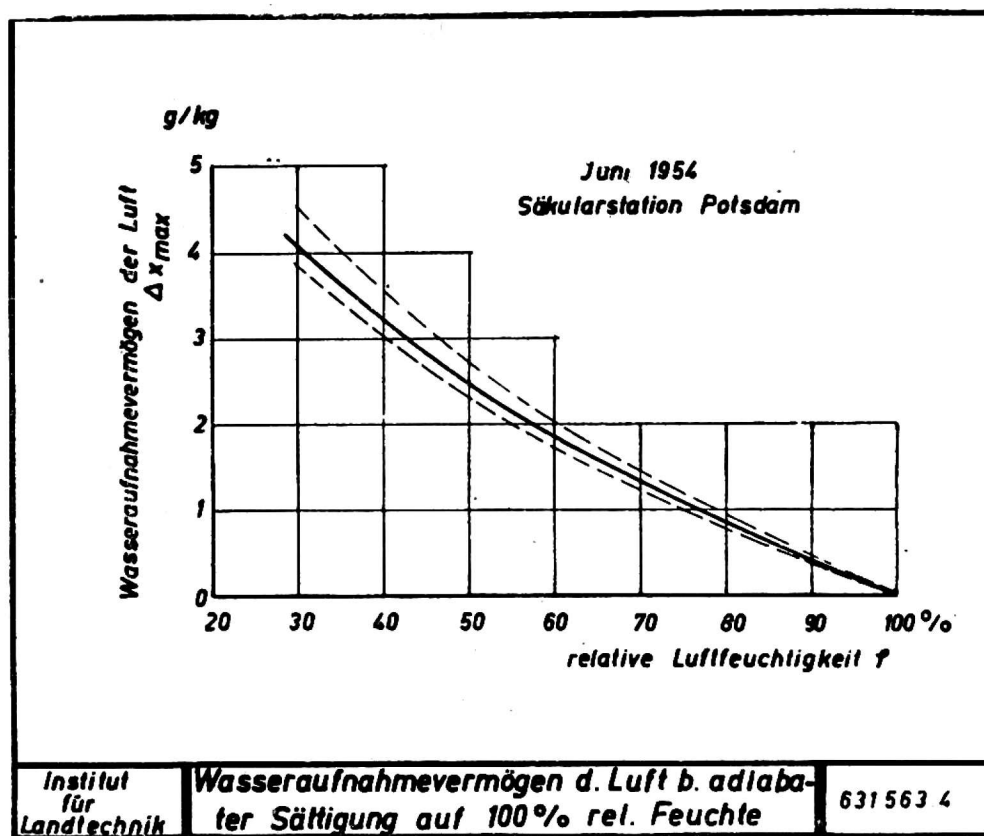


Rys. 9. Związek między nadmierną temperaturą siana a rozmiarami jego wysychania
Connection between excessive temperature of hay and its drying rate

Warto by na ten temat przeprowadzić specjalne badania. Poniżej nie będziemy go uwzględniali. W badaniach ma on w każdym razie znaczenie, tylko w odniesieniu do siana zawierającego 35—40% wilgotności. W tym zasięgu ustają przemiany biologiczne.

b) Suszenie przez adiabatyczne wchłanianie wody przez powietrze

W normalnych wypadkach suszenia musi powietrze samo dostarczyć energię potrzebną do wyparowania wody. Toteż zmiany warunków powietrza przebiegają w kierunku Enthalpii. W wykresie Mollier — i, x odpowiada to linii $i = \text{const}$. Ciepło parowania wody pojawia się w formie ochłodzenia powietrza. W suszarniach można to ochłodzenie przeznaczyć do odbierania wilgotności suszącemu powietrzu.



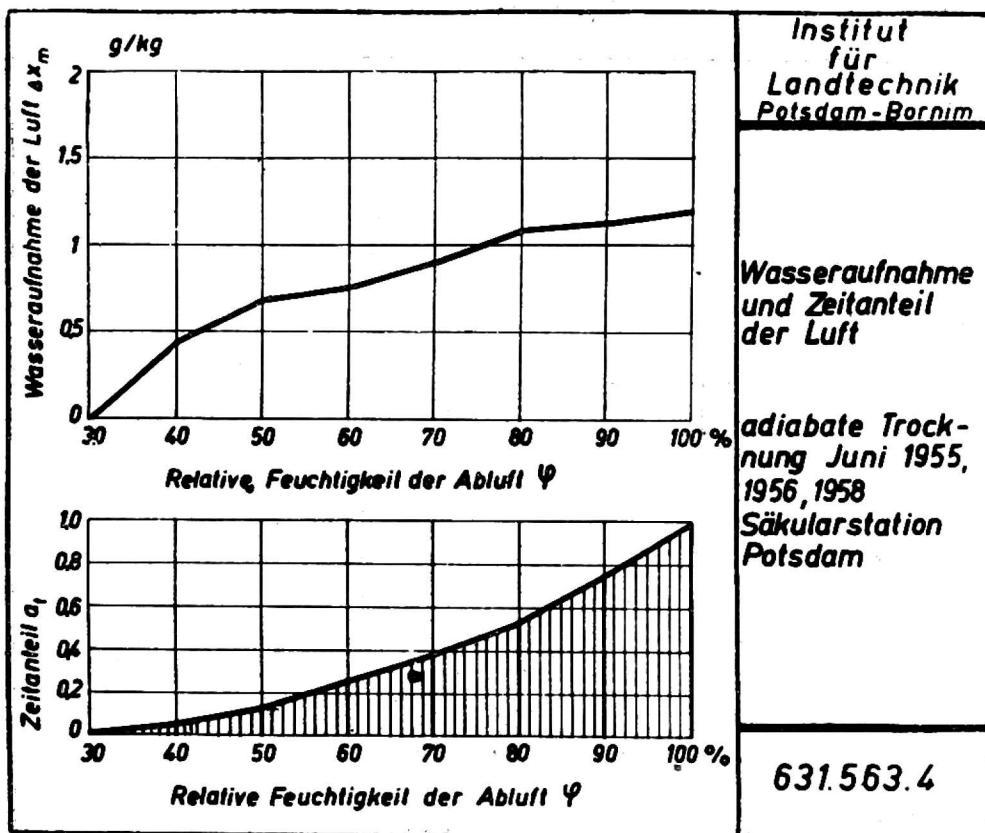
Rys. 10. Zależność między wilgotnością powietrza a maksymalnym wchłanianiem wody
Interdependence between air moisture and maximum water absorption

Do oznaczenia wielkości adiabatycznego wchłaniania wody z powietrza służył pokazany już wykres 7 (Mollier — i, x z zaznaczeniem zasięgu klimatu), z którego przez wymierzenie odpowiednich odstępów uzyskuje się stosunek między względną wilgotnością powietrza a maksymalnym wchłanianiem wody (rys. 10). Długa pełna linia przedstawia średnią wartość zasięgu klimatycznego, obie linie kreskowane ograniczają zasięg $\pm \sigma$. Łatwo można zauważyć, że dość szeroki zasięg klimatyczny Mollierowskiego wykresu zamienia się w wąską wstęgę, którą praktycznie można traktować jako jedną linię. Zakładając, że powietrze może nasycić się

100% wilgotnością, należy przyjąć, że każdej względnej wilgotności odpowiada całkiem dokładnie określona maksymalna chłonność wilgoci przez powietrze.

Przedstawienie wykresów klimatu przy pomocy czynnika czasu a_t , jako odciętej nie przedstawia już żadnych trudności, gdyż względną wilgotność można zastąpić chłonnością. Uczyniono to na rys. 11. Dla uzupełnienia nakreślono tu dodatkowo jeszcze kilka punktów wskazujących względną wilgotność.

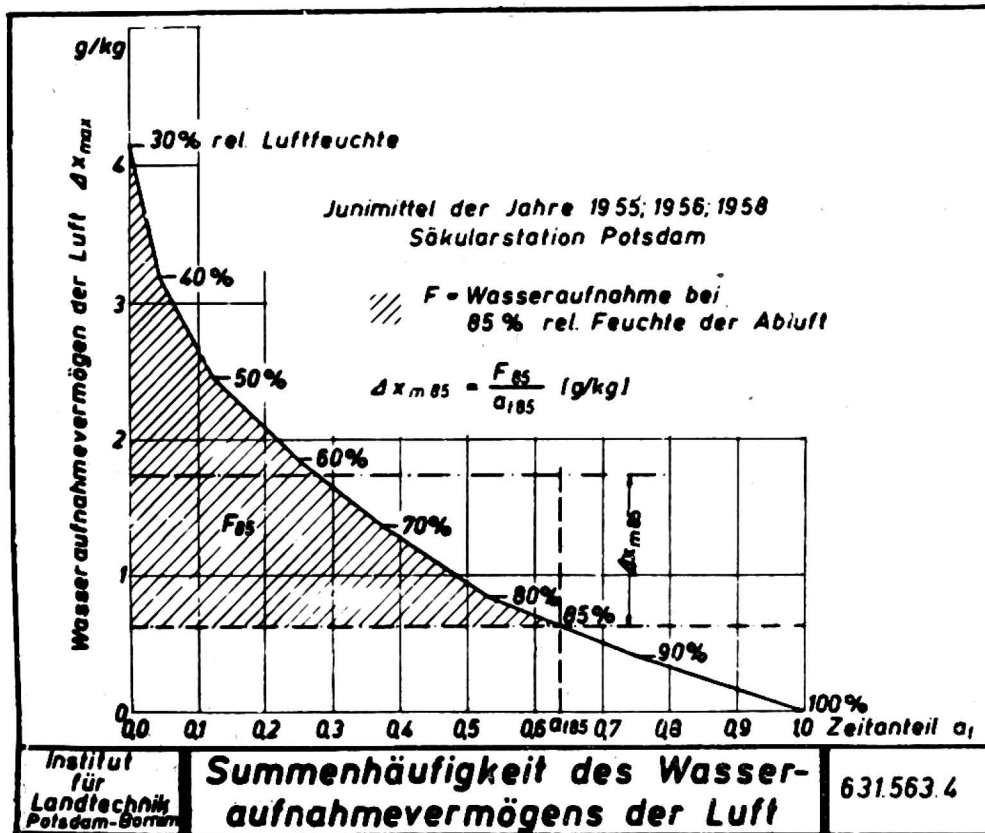
Jak już na początku wspomniano, wytwarza się w najwyższej warstwie siana równowaga sorpcyjna. Przy ujściu nie może się przeto powietrze nasycić 100% wilgotnością, która odpowiada wilgotnemu jeszcze sianu. Maksymalna chłonność wody Δx_{\max} , przedstawiona jako funkcja a_t zmniejsz-



Rys. 11. Chłonność powietrza w stosunku do czasu
Air moisture absorbing capacity as related to time

sza się przeto w praktyce o maksymalną chłonność wody przy ujściu powietrza. W wykresie uwzględniono to zjawisko przez wniesienie przykładowej linii przedstawiającej 85% wilgotności powietrza przy ujściu. Płaszczyzna leżąca powyżej tej linii odpowiada całości poszukiwanej chłonności wilgoci. Przez wyplanimetrowanie płaszczyzny, a następnie przez podzielenie przez odpowiedni czynnik czasowy, otrzymuje się średnią chłonności wilgotności. W powyżej przytoczonym przykładzie przy 85% wilgotności powietrza przy ujściu można na wykresie odczytać dwie wielkości: średnią zdolność do pochłaniania wody przez powietrze (ok. 1,2 g/kg) oraz szukany stosunek czasu pracy do całego czasu (czynnik czasowy 0,64).

Kontynuując w ten sposób zaznaczanie na wykresie rozmaitych rodzajów wilgotności powietrza przy ujściu, uzyska się w rezultacie rys. 12; za każdym razem, w zależności od względnej wilgotności powietrze przy ujściu otrzyma się na rysunku u góry średnią chłonności wody przez powietrze, u dołu zaś czynniki czasowe. Chłonność wilgotności przez powietrze przedstawiona jest na tym wykresie w wymiarach g/kg. W przeli-



Rys. 12. Chłonność powietrza w stosunku do czasu przy różnej wilgotności względnej

Air absorbing capacity as related to time at various relative moistures

czeniu na stosowane w praktyce mierniki g/m^3 należy wynik zwiększyć o 25% uzyskanej wartości liczbowej. Wykres ten stanowi właściwe zakończenie statystycznych pomiarów pogody w miesiącu czerwcu.

Istotną nowością jest to, że dotychczas kwestionowana wielkość średniej chłonności wody przez powietrze stała się wielkością znaną, a mianowicie jest wielkością statystyczną, zależną głównie od początkowej wilgotności siana.

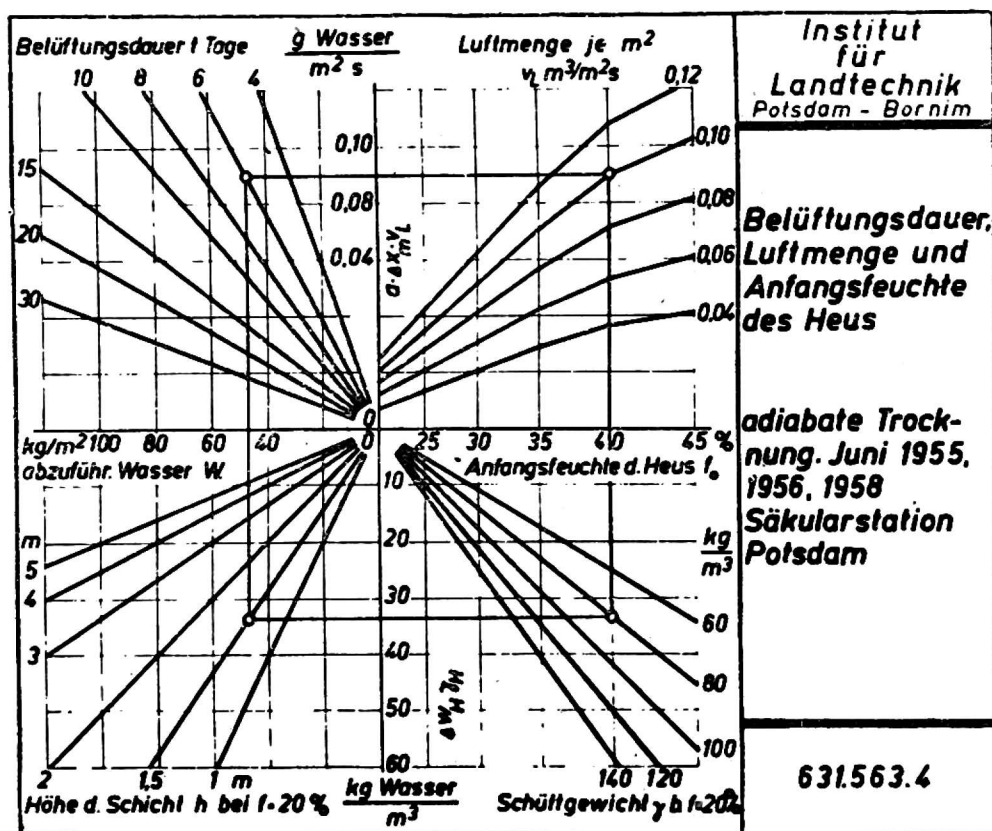
2. ZWIĄZEK Z URZĄDZENIEM SŁUŻĄCYM DO PRZEWIETRZANIA SIANA

W nomogramie (rys. 13) odnoszącym się do 1 m^2 powierzchni rusztu przyjęto jako założenie następujące wyidealizowane warunki: 1) Ujście powietrza pozostaje w równowadze z wilgotnym jeszcze sianem. 2) Żadna ilość suszącego powietrza nie uchodzi nie zużytkowana. 3) Nie jest uwzględniony efekt suszenia przez samoczynne ogrzewanie. Czynniki ten

należy bliżej zbadać w specjalnych pracach, gdyż istotnie istnieje, jak już wspomniano, i jest głównie funkcją siana, a nie klimatu.

Wychodząc od zagadnienia początkowej wilgotności siana dochodzi się z jednej strony — od ciężaru ułożonego siana i wysokości warstwy do ilości wody, którą należy odprowadzić (końcowa wilgotność siana winna wynosić 20%), z drugiej zaś strony od ilości powietrza i ogólnej ilości czasu do ilości wody, którą można odprowadzić.

Krzywe równych ilości powietrza (pęk krzywych na prawo w górnym polu) zawierają, na podstawie obliczeń statystycznych, wartości dotyczące przebiegu pogody jak i średnią zdolność wchłaniania powietrza, jak również i czynnik czasu.



Rys. 13. Czas przewietrzania, ilość powietrza i początkowa wilgotność siana (nomogram)

Ventilation duration, air amount and initial moisture of hay (A nomogram)

Zastosowanie tego nomogramu daje się wyjaśnić najlepiej na podstawie podanego przykładu. Przy początkowej wilgotności siana $f_0 = 40\%$, ilości powietrza $V_L = 0,10 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{s}$, suszenie jednej warstwy o wysokości $h = 1,5 \text{ m}$ (przed suszeniem są to więc ok. 2 m) i o ciężarze usypnym $\gamma H = 80 \text{ kg}/\text{m}^3$ trwa razem 6 dni (Czynnik czasowy c_t został przy tym uwzględniony). Czas ten odpowiada całkiem dokładnie czasowi stosowanemu w praktyce. Nie można arbitralnie wpływać ani na początkową wilgotność, ani na obciążenie.

Toteż nomogram ten nadaje się również i do tego, by na podstawie wysokości zebranego w kopy siana i na podstawie maksymalnie dopuszczalnego czasu trwania okresu przewietrzania ustalić ilość powietrza na

1 m² rusztu. Może więc stać się środkiem pomocniczym przy projektowaniu urządzeń do przewietrzania siana, jeśli uda się ująć cyfrowo proces suszenia przez samoczynne ogrzewanie.

Streszczenie

Dzięki opracowaniom statystycznym dotyczącym czerwca, będącego miesiącem suszenia siana, udało się odkryć związek istniejący między średnią klimatu, a średnią chłonności wilgotności przez powietrze. Na podstawie uzyskanych danych umożliwiono m. in. projektowanie urządzeń przewietrzających również i dla takich obszarów kraju, gdzie klimat jest wprawdzie znany, gdzie jednak dotychczas nie znane były doświadczenia dotyczące urządzeń przewietrzających, np. Erzgebirge (Rudawy). Nomogram dotyczący związku między trwaniem przewietrzania, ilością powietrza i wysokością warstw siana daje się zastosować przy projektowaniu urządzeń przewietrzających, bez konieczności szacowania niepewnej jeszcze dotychczas średniej chłonności wody przez powietrze: wynika ona raczej z początkowej wilgotności siana.

Zależność przewietrzania nie ogrzewanym powietrzem była dotychczas znana, nie została jednak zbadana pod względem liczbowym. W niniejszym referacie usiłowano przeto przy pomocy metod statystycznych określić liczbowo średnią chłonności wody w ciągu miesiąca czerwca, wchodzącego w rachubę jako miesiąc suszenia (przewietrzania) siana.

Postępowano według następujących założeń:

Z przebiegu względnej wilgotności powietrza można przez wyliczenie wysledzić czasową częstotliwość rozmieszczenia rozmaitych stopni wilgotności. Jeśli się do tego doda jeszcze ustosunkowanie do temperatury uzyskuje się cały zasięg, w którym odbywają się zmiany klimatyczne (pogody).

Maksymalna chłonność wody przez powietrze (przy nasyceniu = 100% F) można bez trudu obliczyć względną wilgotność powietrza, jeśli się założy, że adiabatyczne suszenie siana odbywa się bez samoczynnego ogrzewania. Wobec tego, że statystyczne obliczenie względnej wilgotności powietrza już zostało dokonane, otrzymuje się istotną średnią chłonności wody przez powietrze w urządzeniach służących do przewietrzania siana.

Na podstawie uzyskanych wniosków umożliwiono m. in. projektowanie urządzeń przewietrzających również i dla takich obszarów kraju, w których klimat jest wprawdzie znany, ale w którym dotychczas nie było znanych doświadczeń dotyczących urządzeń do przewietrzania siana. Zaproponowany nomogram o stosunkach między czasem trwania przewietrzania, ilością powietrza i wysokością warstwy siana nadaje się do zastosowania przy projektowaniu urządzeń przewietrzających bez konieczności szacowania dotychczas jeszcze dość niepewnej średniej chłonności o wchłaniania wody przez powietrze.