

WSTĘPNE STUDIA I BADANIA LABORATORYJNE NAD SZTUCZNYM SUSZENIEM ZIOŁ

ADOLF SOSNOWSKI

Instytut Mechanizacji i Elektryfikacji Rolnictwa — Warszawa

Uprawa roślin zielarskich w Polsce nabiera coraz większego znaczenia. Zioła dzięki swoim właściwościom mają coraz większe zastosowanie nie tylko w lecznictwie, lecz także w przemyśle spożywczym, mydlarskim, kosmetycznym, farmaceutycznym, garbarskim itp.

Ostatnio jest to również bardzo poszukiwany artykuł na rynkach zagranicznych.

By można było korzystać z surowca zielarskiego przez dłuższy okres czasu, należy go umiejętnie wysuszyć, a otrzymany susz właściwie przechowywać.

Umiejętne suszenie polega na odwodnieniu surowca zielarskiego przez odparowanie z niego takiej masy wody, przy odpowiedniej temperaturze i właściwej ilości powietrza, aby w suszu zachowane były potrzebne ciała czynne do celów leczniczych lub odżywczych oraz utrzymane zewnętrzne cechy ziela.

Ogólnie mówiąc, suszenie unieszkodliwia znajdujące się w ziołach enzymy, które — odwrotnie jak w żywej roślinie — powodują niszczenie surowca i jego składników.

Mając na uwadze tak doniosłe znaczenie suszenia ziół w Polsce oraz dotychczasowy brak dobrych i ekonomicznych suszarni, rozpoczęto w roku 1959 w Zakładzie Suszarnictwa IMER — Kłudzienko wstępne badania laboratoryjne nad procesami wysychania surowców zielarskich.

Zasadniczym celem rozpoczętych badań jest opracowanie metody obliczania przebiegu procesu suszenia. Brak dotychczas metody obliczania przebiegu procesu suszenia uniemożliwia zarówno racjonalne konstruowanie suszarni, jak i doskonalenie procesu technologicznego w suszarniach już istniejących.

Wstępne badania przeprowadzono nad procesem wysychania ziela szalwii (*Salvia officinalis*) i częściowo mięty (*Mentha piperita*), zwracając szczególną uwagę, jaki wpływ mają parametry suszenia na jakość suszonego surowca i zawartość w nim olejków eterycznych.

METODYKA I CEL BADAŃ

Badania zostały przeprowadzone w laboratoryjnych 5-kolumnowych suszarkach konwekcyjnych na tym samym materiale i mniej więcej w tych samych warunkach termicznych.

Dokładny opis laboratoryjnych suszarni znajduje się w referacie inż. Tatyiany Garbuz pt. „Wstępne badania nad konwekcyjnym suszeniem ziarna słonecznika ogrzany powietrzem“.

Dla porównania wpływu natężenia przepływu powietrza (ogrzewanego) na przebieg suszenia, badania przeprowadzono w 3 powtórzeniach przy różnych natężeniach przepływu powietrza G_p [kg/m² sek], mniej więcej stałej temperaturze t_1 [°C] pod sitem badanej próbki i tej samej stałej różnicy psychrometrycznej $(t_s - t_m)$ [°C] oraz średniej wilgotności względnej powietrza otoczenia $\varphi = 40-70\%$, jak to podaje tabela 1 dla szałwii.

Tabela 1

Natężenie przepływu powietrza G_p [kg/m ² sek]	Kolumna					$(t_s - t_m)_1$	t_1
	I	II	III	IV	V	°C	°C
Pierwsze powtórzenie	0,100	0,180	0,250	0,339	0,250	20,1	41,1
Drugie powtórzenie	0,100	0,179	0,248	0,378	0,300	20,5	40,5
Trzecie powtórzenie	0,049	0,100	0,150	0,200	0,250	20,5	40,5

Badania nad procesem suszenia mięty przeprowadzono w 2 powtórzeniach przy parametrach suszenia podanych w tabeli II i średniej wilgotności względnej powietrza otoczenia $\varphi = 35-65\%$.

Tabela 2

Natężenie przepływu powietrza G_p [kg/m ² sek]	Kolumna					$(t_s - t_m)_1$	t_1
	I	II	III	IV	V	°C	°C
Pierwsze powtórzenie	0,040	0,080	0,120	0,150	—	12,7	31,7
Drugie powtórzenie	0,0397	0,0407	0,200	0,240	—	14,2	32,6

W celu określenia zawartości olejków w badanym materiale, wilgotności oraz suchej masy materiału, pobierano próbki przed i po wysuszeniu z każdego sita pomiarowego danej serii badań.

Dla porównania przebiegu suszenia z suszeniem materiału w warunkach naturalnych (bez podgrzewania i podmuchu powietrza) surowiec rozkładano w pomieszczeniu suszarni na sitach, warstwą o grubości 10 cm, a po wyschnięciu pobierano próbki.

Sita pomiarowe suszarni w przeliczeniu na suchą masę obciążano w granicach $M_s/F = 0,8-30$ [kg s. m./m²]. Badania prowadzono w ten sposób, ażeby uzyskać zależności między zawartością wody u [kg H₂O/kg s. m.] w suszonym materiale, a czasem Θ [h, min.] suszenia materiału w określonych warunkach suszenia.

W ten sposób, można było określać każdorazową zawartość wody w materiale szufladki w funkcji czasu suszenia dla każdego poszczególnego pomiaru.

Jako surowca użyto ziela (łodygi i liście) szaławii (*salvia officinalis*) i ziela mięty pieprzowej (*Mentha piperita*). Materiał użyty do badań był dostarczony z własnej plantacji Stacji Doświadczalnej IMER w Kłudzienku o bardzo małym zachwaszczeniu.

Był to materiał pierwszego roku użytkowania plantacji. Surowiec mięty był częściowo porażony rdzą miętową. Wilgotność ziela szaławii wahała się w granicach od 68—74%, a mięty od 70—80%.

Celem badań było:

1. Poznanie procesu wysychania ziela szaławii i mięty (liście wraz z łodygami).

2. Określenie, czy natężenie przepływu powietrza G_p przy stałej różnicy psychrometrycznej $(t_s - t_m)_1 = \text{const.}$ ma wpływ na szybkość suszenia w I okresie suszenia, traktując dolne sita pomiarowe jako warstwę brzegową (bardzo cieką) przy obciążeniu sit suchą masą $M_s/F = 0,8$ [kg s. m./m²].

3. Określenie, jaki wpływ na proces wysychania szaławii i mięty suszonej w grubych warstwach w II okresie suszenia ma natężenie przepływu powietrza G_p na zawartość wody w warstwie suszonego materiału w dowolnym miejscu warstwy i w dowolnym czasie suszenia.

4. Przeprowadzenie oceny wpływu warunków suszenia (natężenia przepływu powietrza i temperatury) na zawartość olejków eterycznych (ciał czynnych) podczas procesu suszenia szaławii i mięty.

PRZEBIEG PROCESU SUSZENIA I WYNIKI BADAŃ

Suszenie ziela szaławii rozpoczęto 8 września 1959 r. zakończono 26 września 1959 r. W okresie tym przeprowadzono 79 pomiarów. Suszenie zaś ziela mięty rozpoczęto 25 sierpnia 1959 r. zakończono 4 września 1959 r. i przeprowadzono 38 pomiarów. Ze względu na różną wilgotność początkową materiału w poszczególnych sitach pomiarowych wahającą się w granicach 68—74% dla szaławii i 70—80% dla mięty, sprowadzono wilgotność początkową rzeczywistą u (kg H₂O/kg s. m.) do jednakowej, wprowadzając wielkość „zredukowanej zawartości wody \tilde{u} ”

$$\tilde{u} = \frac{u - u_r}{u_0 - u_r} \quad (1)$$

gdzie:

u_0 — początkowa zawartość wody [kg H₂O/kg s. m.]

u — końcowa zawartość wody [kg H₂O/kg s. m.]

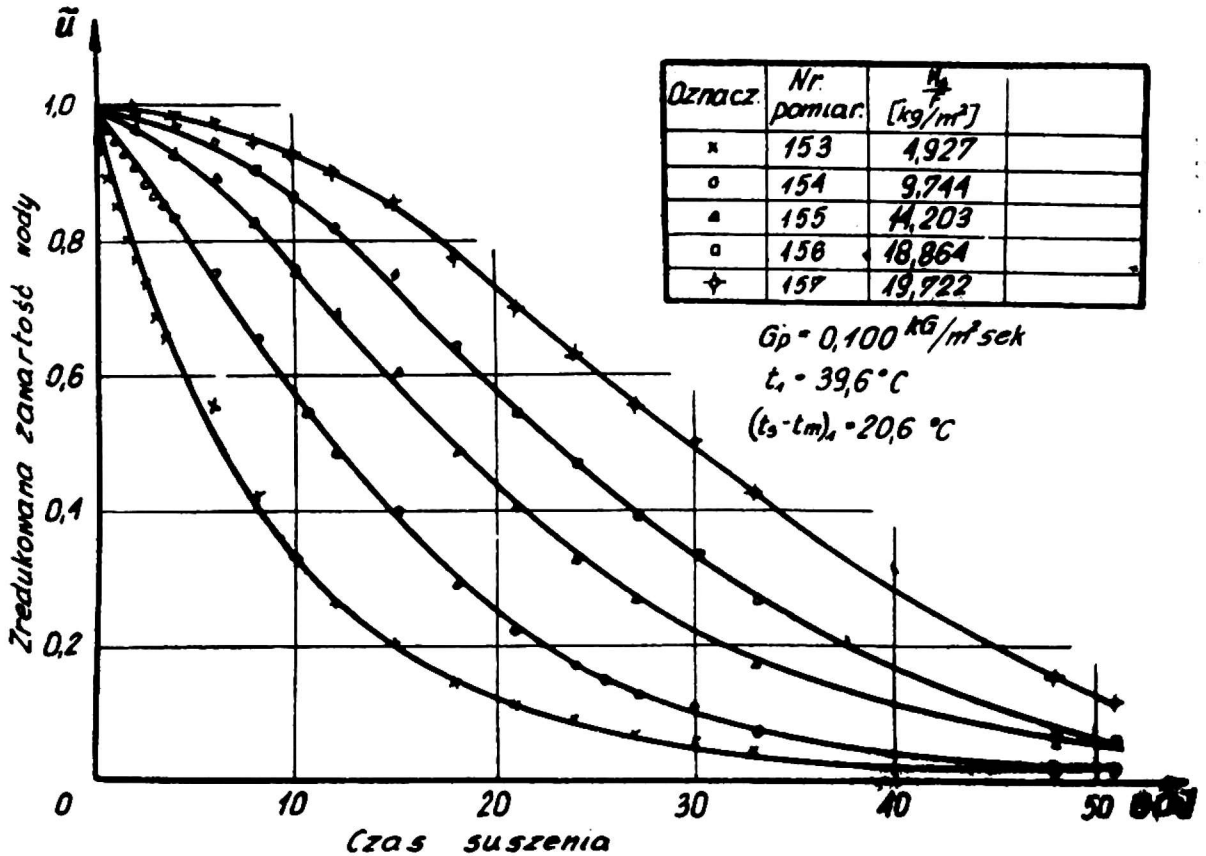
u_r — zredukowana zawartość wody [kg H₂O/kg s. m.]

(zmienna w granicach 1÷0)

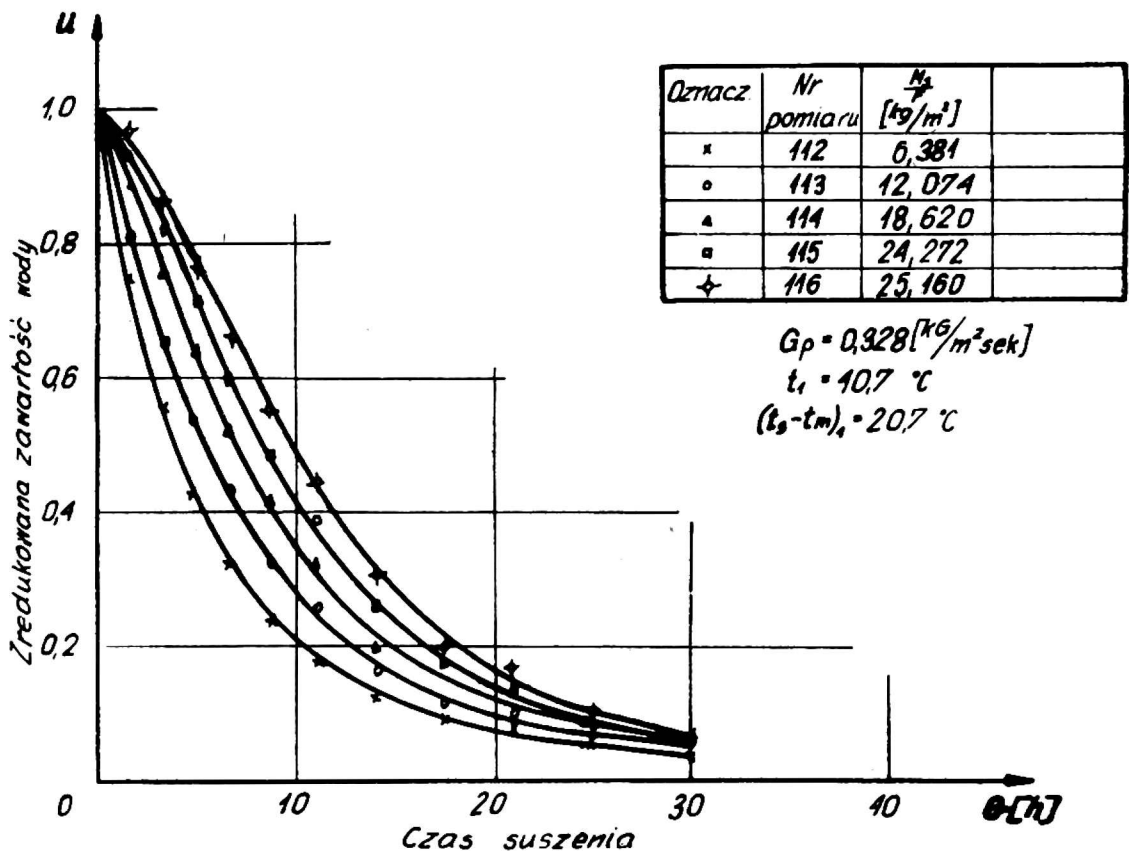
Na podstawie wartości otrzymanych drogą pomiarów, wykonano dla każdego pomiaru wykresy krzywych suszenia

$$\tilde{u} = f(\Theta) \quad (2)$$

czyli zredukowaną zawartość wody w funkcji czasu suszenia. Przykładowo podają to rys. 1 i 2.



Rys. 1. Krzywe suszenia ziela szalwii (*Salvia officinalis*) przy $G_p = 0,100$
 Drying curves of sage herb (*Salvia officinalis*) at $G_p = 0,100$



Rys. 2. Krzywe suszenia ziela szalwii (*Savia officinalis*) przy $G_p = 0,328$
 Drying curves of sage herb (*Salvia officinalis*) at $G_p = 0,328$

Na wykresach tych przedstawiono przebieg procesu suszenia ziela szaławii zachodzącego przy stałej różnicy psychrometrycznej $(t_s - t_m)_1 = 20,6$ [$^{\circ}\text{C}$] i natężeniu przepływu powietrza $G_p = 0,100$ i $0,328$ [$\text{kg}/\text{m}^2 \text{sek}$]. Podane wykresy przedstawiają przebieg krzywych suszenia dla każdego sita pomiarowego w warstwie suszonego materiału.

Z wykresów rys. 1 i 2 widać również, że zredukowana zawartość wody \tilde{u} w suszonej warstwie ziół jest zależna nie tylko od czasu suszenia Θ , lecz i od położenia warstwy $M_s/F = X$ w suszonym materiale.

A więc zachodzi zależność:

$$\tilde{u} = \frac{u - u_r}{u_0 - u_r} = f(\Theta, X) \quad (3)$$

Z charakteru przebiegu krzywych suszenia rys. 1 i 2 widać, że na w/w równanie ma również wpływ natężenie przepływu powietrza G_p , które bardzo wyraźnie zmienia kształt przebiegu krzywych suszenia.

A więc można napisać, że:

$$u = f(\Theta, X, G_p) \quad (4)$$

Równanie (4) określa w sposób ogólny zależności panujące we wnętrzu warstwy suszonej szaławii. Ale na wartość zredukowanej zawartości wody \tilde{u} w dowolnym czasie Θ i miejscu X , ma też wpływ wartość \tilde{u}_1 na brzegu X_1 suszonej warstwy $\tilde{u}_1 = f(\Theta, X_1)$.

Znając przebieg procesu suszenia w warstwie brzegowej szaławii (który można określić równaniem) można wyznaczyć zawartość wody w dowolnym miejscu warstwy oraz w dowolnym czasie suszenia przez wprowadzenie odpowiednich współczynników, określających wpływ grubości warstwy X i natężenia przepływu powietrza G_p na wzrost zredukowanej zawartości wody \tilde{u} w stosunku do zredukowanej zawartości wody \tilde{u}_1 na brzegu warstwy, oczywiście w tym samym czasie suszenia.

Wówczas można napisać następującą zależność:

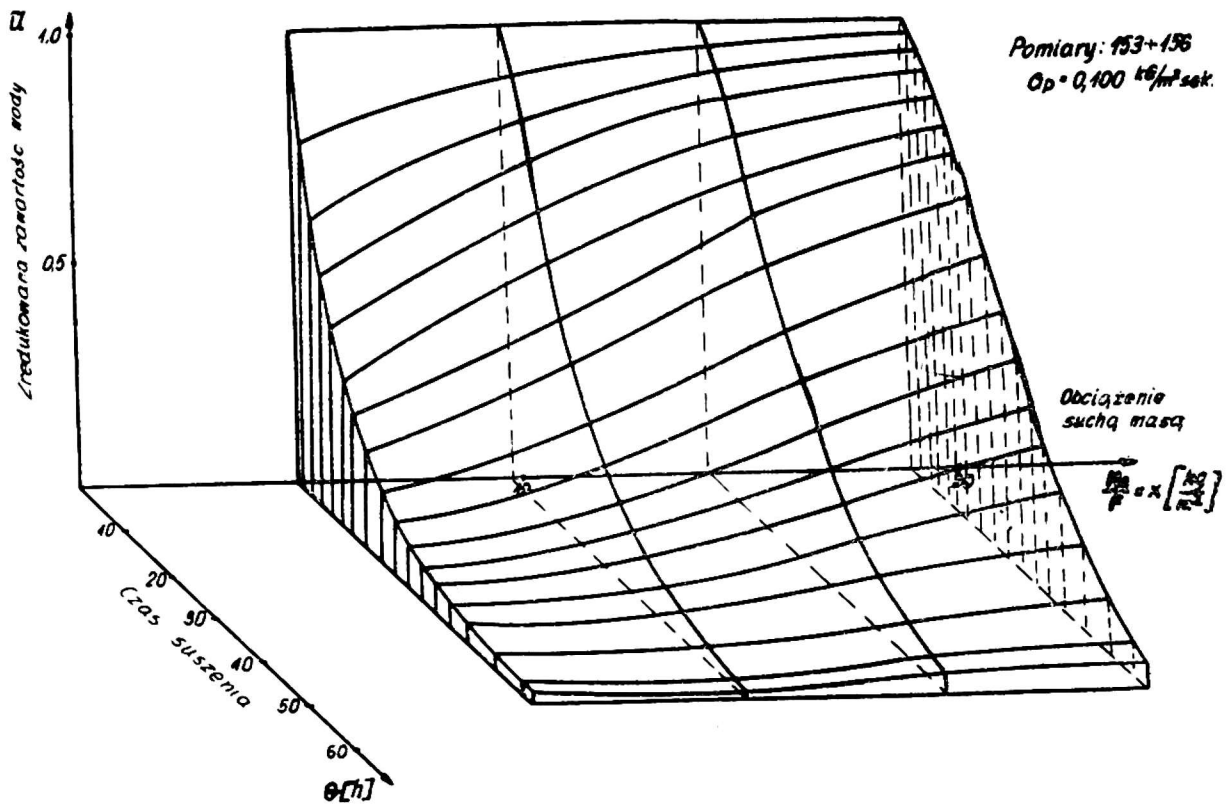
$$\tilde{u} = f(\Theta, X, G_p, \tilde{u}_1) \quad (5)$$

gdzie:

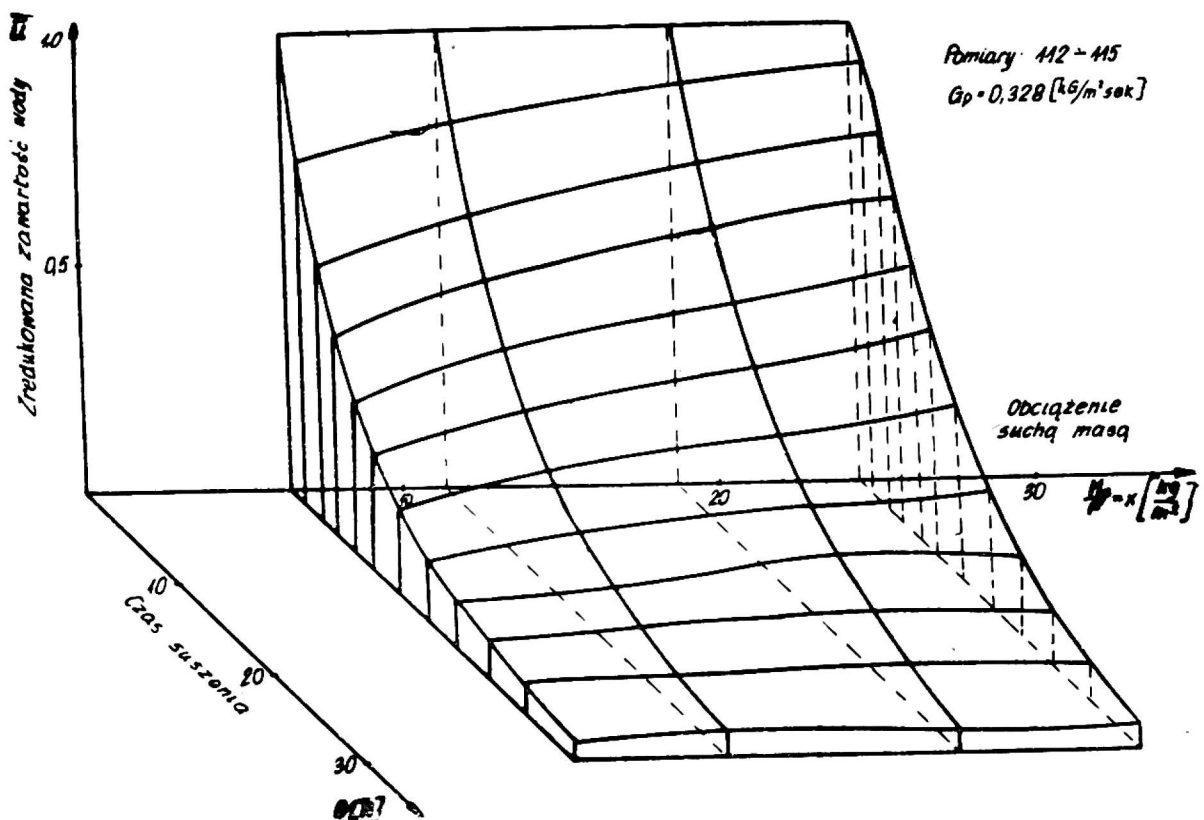
$$\tilde{u}_1 = f_1(\Theta, X_1) \quad (6)$$

Celem jeszcze lepszego uwypuklenia wpływu natężenia przepływu powietrza G_p na charakter przebiegu krzywych w procesie wysychania ziela szaławii, sporządzono dla przykładu z rys. 1 i 2, dwa wykresy w układzie przestrzennym.

Z podanych wykresów rys. 3 i 4 widać bardzo wyraźnie jak zmienia się kształt powierzchni w zależności od natężenia przepływu powietrza G_p przez warstwę suszonego materiału oraz, że G_p wpływa na równomierność wysychania w dalszych warstwach suszonej szaławii. Duże znaczenie dla



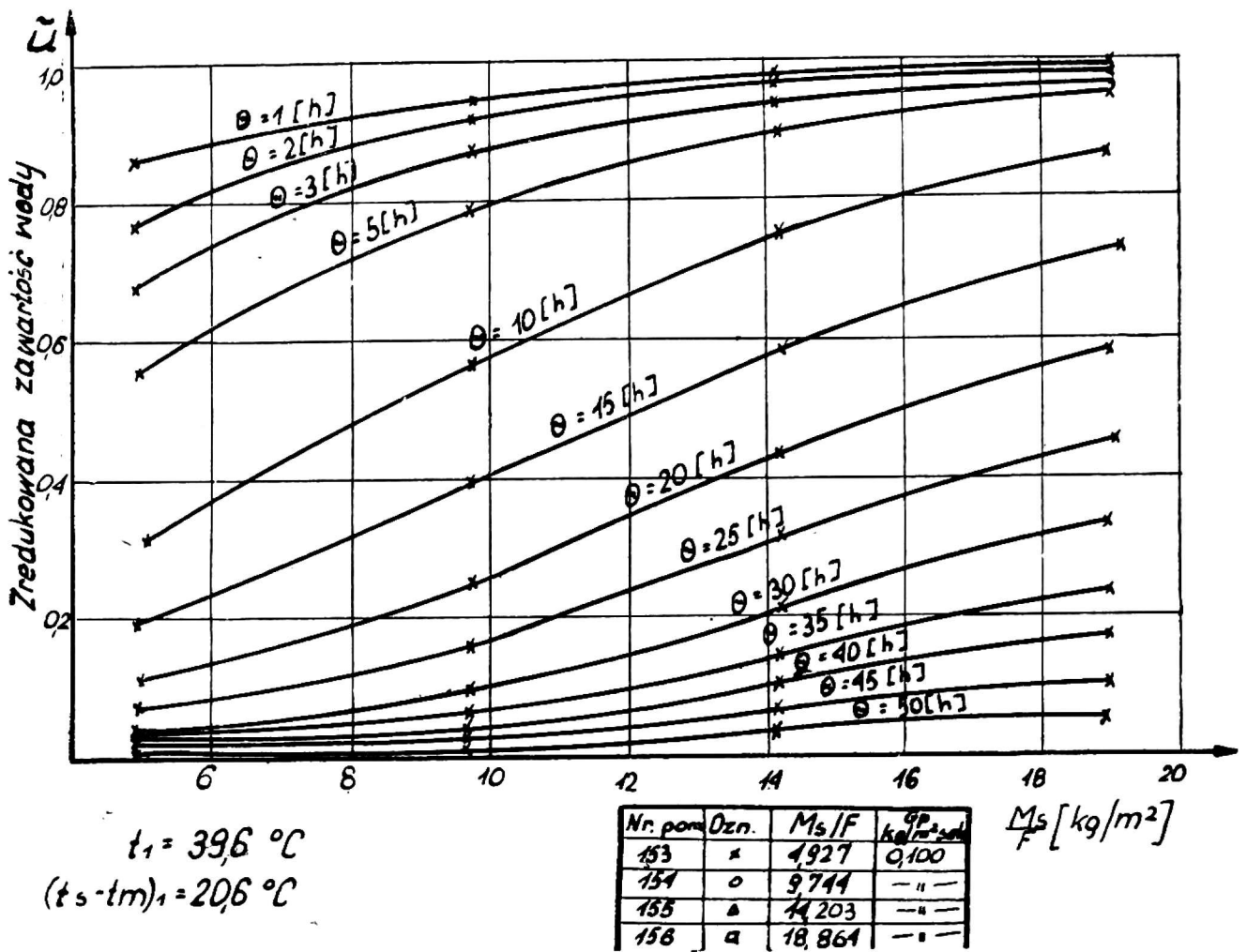
Rys. 3. Przedstawienie w układzie przestrzennym zależności z rys. 1
Dependence shown in fig. 1 demonstrated in spatial exposition



Rys. 4. Przedstawienie w układzie przestrzennym zależności z rys. 2
Dependence shown in fig. 2 demonstrated in spatial exposition

praktyki, jak również dla konstrukcji suszarni mogą mieć wykresy podane przykładowo na rys. 5 i 6.

Wykresy te przedstawiają rozkład zredukowanej zawartości wody \bar{u} w czasie Θ w zależności od obciążenia sit suchą masą materiału X przy suszeniu ziela szalwii dla danych warunków suszenia, tzn. dla $G_p = 0,100$ $[\text{kg}/\text{m}^2 \text{ sek}]$ i $(t_s - t_m)_1 = 20,6$ $[\text{°C}]$ rys. 5 oraz rys. 6 dla $G_p = 0,330$



Rys. 5. Rozkład zredukowanej zawartości wody \tilde{u} w czasie Θ w zależności od obciążenia sit suchą masą materiału X przy suszeniu ziela szalwii

$$G_p = 0,100 \text{ [kg/m}^2 \text{ sek]}, (t_s - t_m)_1 = 20,6 \text{ }^\circ\text{C}$$

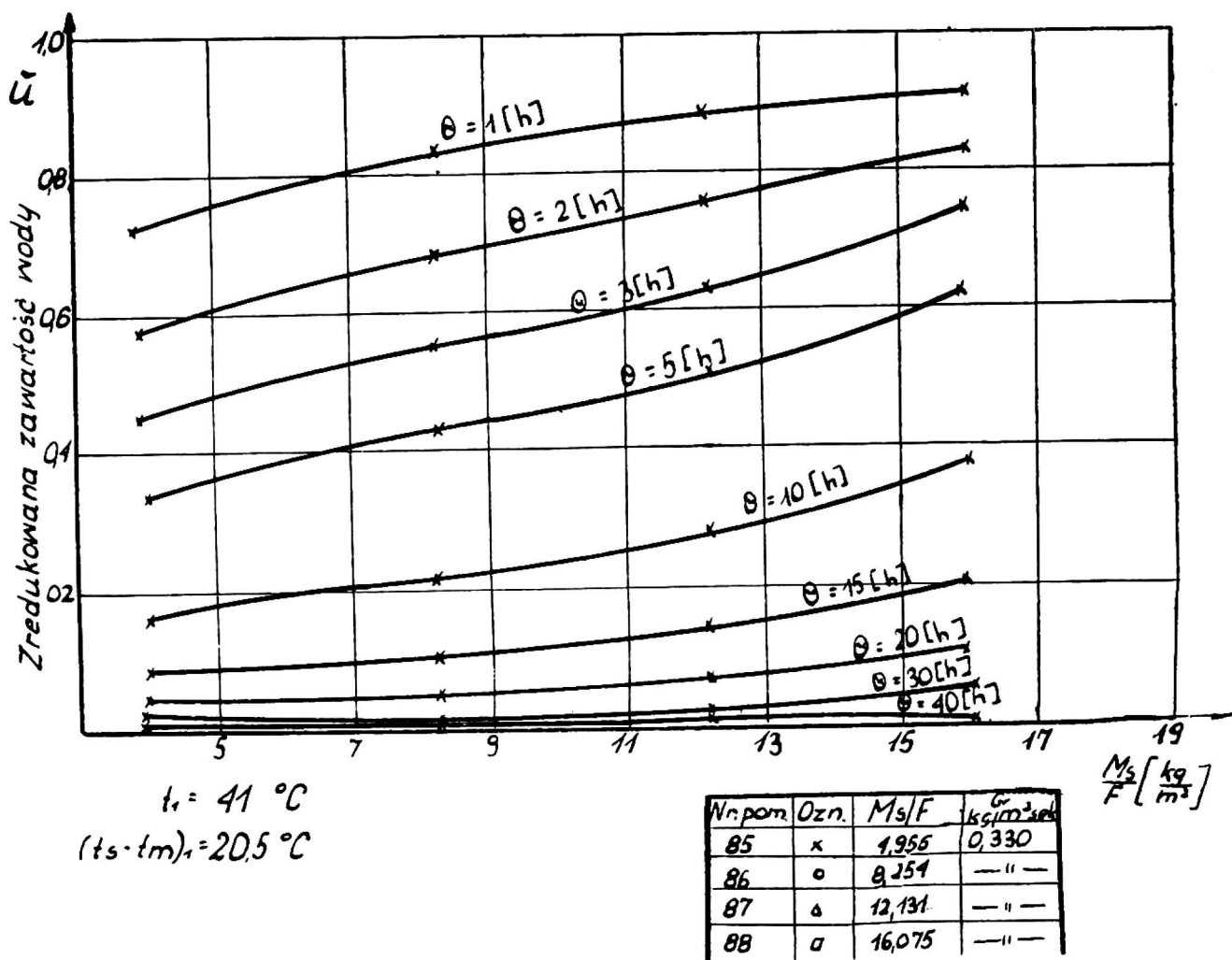
Distribution of reduced moisture content \tilde{u} in time Θ depending upon load of dry material x in drying herb

$$G_p = 0,100 \text{ [kg/m}^2 \text{/sec]}, (t_s - t_m)_1 = 20,6 \text{ }^\circ\text{C}$$

[kg/m² sek] i $(t_s - t_m)_1 = 20,5 \text{ } [^\circ\text{C}]$. Temperatura czynnika suszącego wynosiła $t_1 = 40,5 \text{ } [^\circ\text{C}]$.

Np.: dla uzyskania tej samej zredukowanej zawartości wody \tilde{u} w suszonym materiale (0,04—0,08) rys. 6 przy obciążeniu sita suchą masą $M_s/F = 14 \text{ [kg/m}^2]$ czas suszenia wynosi 20 [h], natomiast dla uzyskania tego samego \tilde{u} na rys. 5, czas suszenia Θ będzie wynosił 45 [h]. A więc natężenie przepływu powietrza G_p ma decydujący wpływ na szybkość suszenia i równomierność wysychania materiału w warstwie oczywiście w danych warunkach suszenia.

Skrócenie czasu suszenia (co w podanym przykładzie wynosi ponad 120%) ma szczególnie ważne znaczenie w procesie wysychania ziół, a to z uwagi na to, że zioła są bardzo wrażliwe na powolne wysychanie. Powolne wysychanie ziół jest powodem samozagrzewania się materiału, co z kolei prowadzi do uszkodzenia surowca, aż do zbutwienia włącznie. Następnym zagrożeniem jest wzmożona niszcycielska praca enzymów, pro-



Rys. 6. Rozkład zredukowanej zawartości wody \tilde{u} w czasie Θ w zależności od obciążenia sit suchą masą materiału X przy suszeniu ziela szaławii

$$G_p = 0,330 \text{ [kg/m}^2 \text{ sek]}, (t_s - t_m)_1 = 20,5 \text{ }^\circ\text{C}$$

Distribution of reduced water content \tilde{u} in a time Θ , depending upon load of dry material X on the sieves in drying sage herb (*Salvia officinalis*)

$$G_p = 0,330 \text{ [kg/m}^2 \text{ /sec]}, (t_s - t_m)_1 = 20,5 \text{ }^\circ\text{C}$$

wadząca do rozkładu ciał, a nawet do ulatniania się olejków eterycznych. Przyczyną tego zjawiska jest niedostateczna wymiana powietrza w procesie suszenia.

Z analiz wszystkich wykresów uzyskanych z przeprowadzonych pomiarów wynika, że najbardziej ekonomiczne pod względem czasu suszenia i równomierności wysychania dla ziela szaławii w warstwie przy obciążeniu sita suchą masą $M_s/F = 18 \text{ [kg/m}^2]$, jest stosowanie natężenia przepływu powietrza w granicach od 0,200—0,330 $[\text{kg/m}^2 \text{ sek}]$, różnicy psychrometrycznej $(t_s - t_m)_1 = 20,5 \text{ [}^\circ\text{C]}$ przy temperaturze gazu suszącego $t_1 = 40,5 \text{ [}^\circ\text{C]}$.

Możliwe jest, że zwiększenie natężenia przepływu powietrza ponad 0,330 $[\text{kg/m}^2 \text{ sek}]$ dałoby jeszcze bardziej korzystne wyniki. To samo dotyczy zwiększenia temperatury czynnika suszącego powyżej 40,5 $[\text{ }^\circ\text{C}]$.

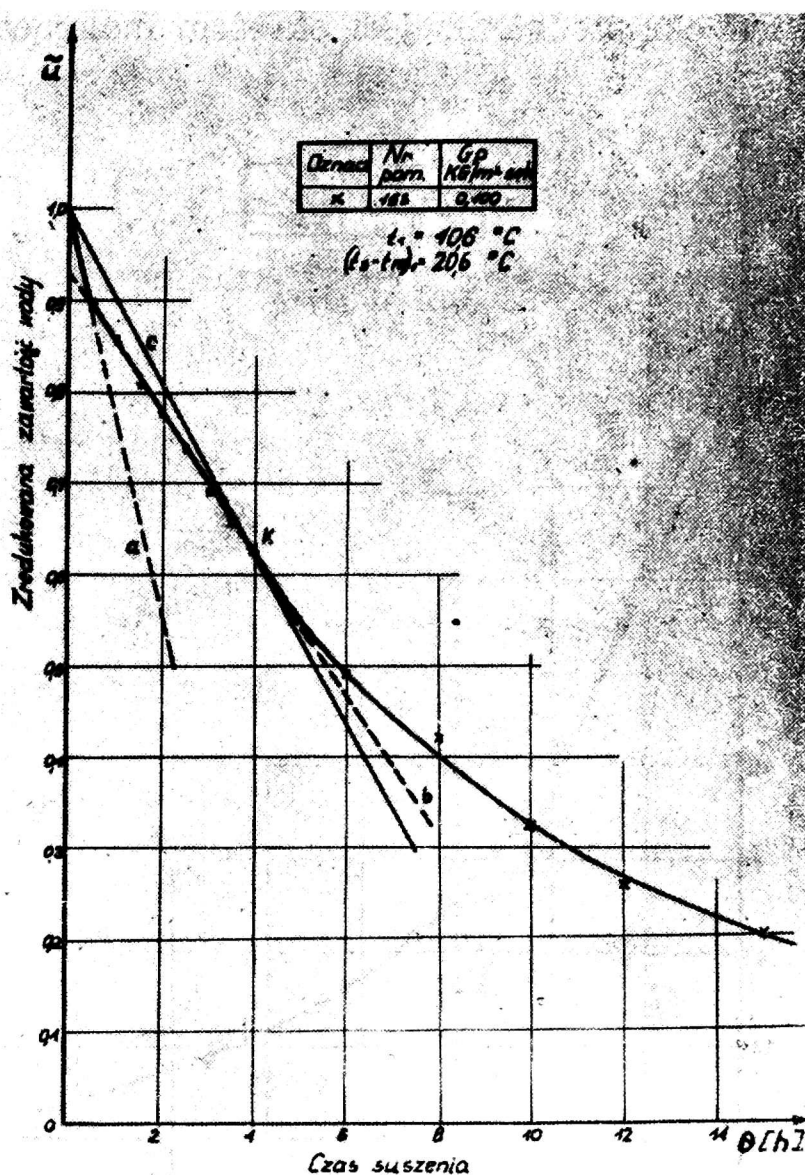
Jak dotąd przy tych wartościach nie były prowadzone badania.

Może się również okazać, że stosowanie wyższych wartości wpłynie ujemnie na zawartość olejków eterycznych w suszonym materiale, co jest

bardzo prawdopodobne. Ponadto zwiększą się bardzo poważnie koszty suszenia, co nie jest bez znaczenia.

Wszystkie wyżej podane rozważania odnoszą się również do suszenia ziela mięty i mają bardzo podobny charakter do przebiegu procesu suszenia ziela szalwii. Wobec tego przebiegu procesu suszenia ziela mięty nie omawiano w niniejszym doniesieniu jako odrębnego zagadnienia.

Na podstawie dalszych analiz krzywych suszenia ziela szalwii i mięty $\tilde{u} = f(\Theta)$ dla warstwy brzegowej (I sitka pomiarowego) można stwierdzić,



Rys. 7. Powiększony fragment wykresów z rys. 1

Enlarged part of diagrams shown in fig. 1

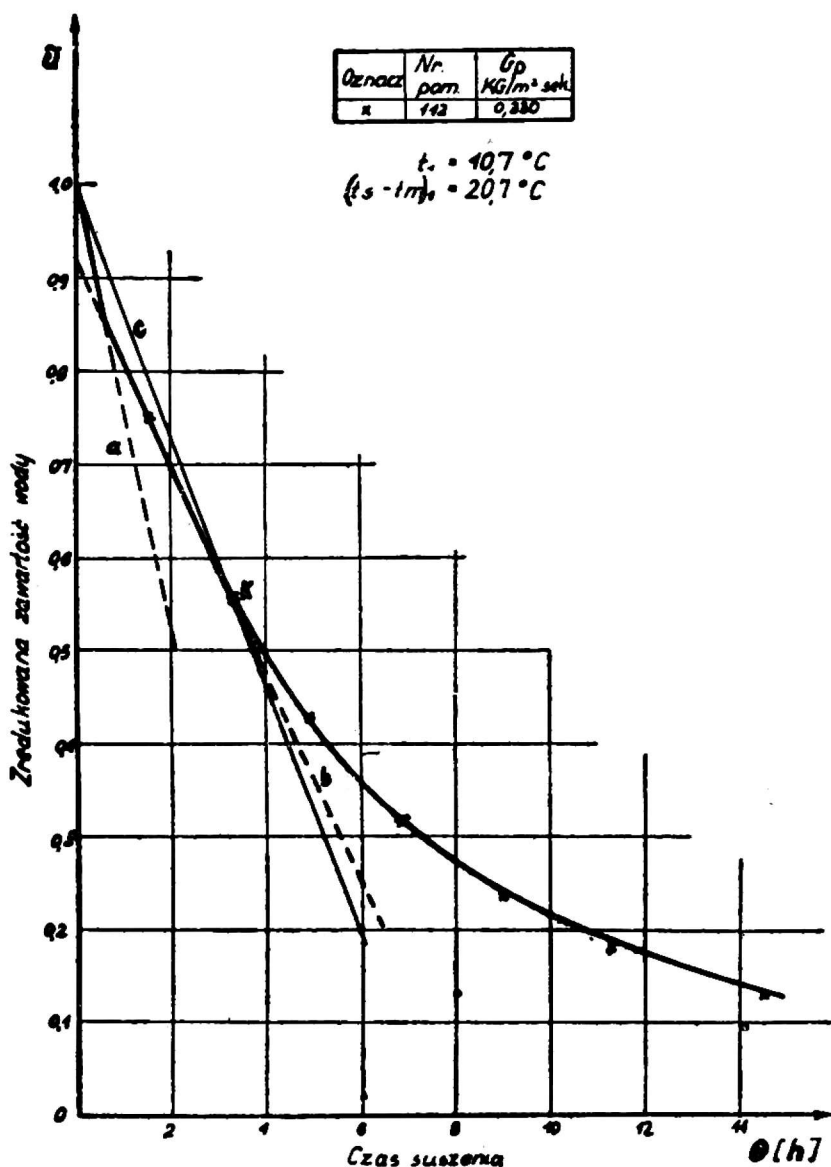
że krzywa przebiegu procesu wysychania na początku okresu suszenia składa się z 2 odcinków linii prostej (a i b). Przykładowo podają to rys. 7 i 8, na których powiększono fragmenty wykresów z rys. 1 i 2, zwiększając podziałki.

Dopiero po wymienionych 2 odcinkach linii prostej (a i b) rys. 7 i 8, następuje wyraźnie wklęsły przebieg krzywej — II okres suszenia. Takiego przebiegu procesu suszenia należało się spodziewać, ponieważ ziele szalwii

i mięty brane do badań miało wilgotność początkową wyższą od wilgotności krytycznej U_k .

Wobec tego, że przy suszeniu ziela szalwii i mięty występują wyraźnie dwa okresy suszenia I i II, więc dla opracowania wyników badań należy wyznaczyć szybkość suszenia w I okresie. Najłatwiej wykonać to drogą graficznego różniczkowania krzywych suszenia oraz ustalić punkt U_k , krytycznej zawartości wody.

Z teorii suszenia wiadomo, że początkowa szybkość suszenia rzutuje na II okres suszenia, oraz że I okres suszenia jest okresem stałej szybkości suszenia. I dalej, że II okres suszenia jest okresem malejącej szybkości suszenia.



Rys. 8. Powiększony fragment wykresów z rys. 2
Enlarged part of diagrams shown in fig. 2

Szybkości suszenia dla przedstawionych odcinków (a i b) na rys. 7 i 8 są bardzo różne, lecz dla danych określonych warunków suszenia są stałe i zależne od natężenia przepływu powietrza G_p oraz różnicy psychrometrycznej $(t_s - t_m)_1$.

$$\text{Zarówno } \left(\frac{d\tilde{u}}{d\Theta}\right)_a = \text{const i } \left(\frac{d\tilde{u}}{d\Theta}\right)_b = \text{const}$$

Dla porównania jak wpływa natężenie przepływu powietrza na szybkość suszenia w I okresie suszenia, szybkość suszenia w tym okresie wyznaczono graficznie, jako wypadkową zredukowaną szybkość suszenia listków i łodyg (prosta C).

Z rys. 7 i 8 widać bardzo wyraźnie jak natężenie przepływu powietrza G_p przy $(t_s - t_m)_1 = \text{const.}$ wpływa na szybkość suszenia ziela szałwii w I okresie suszenia.

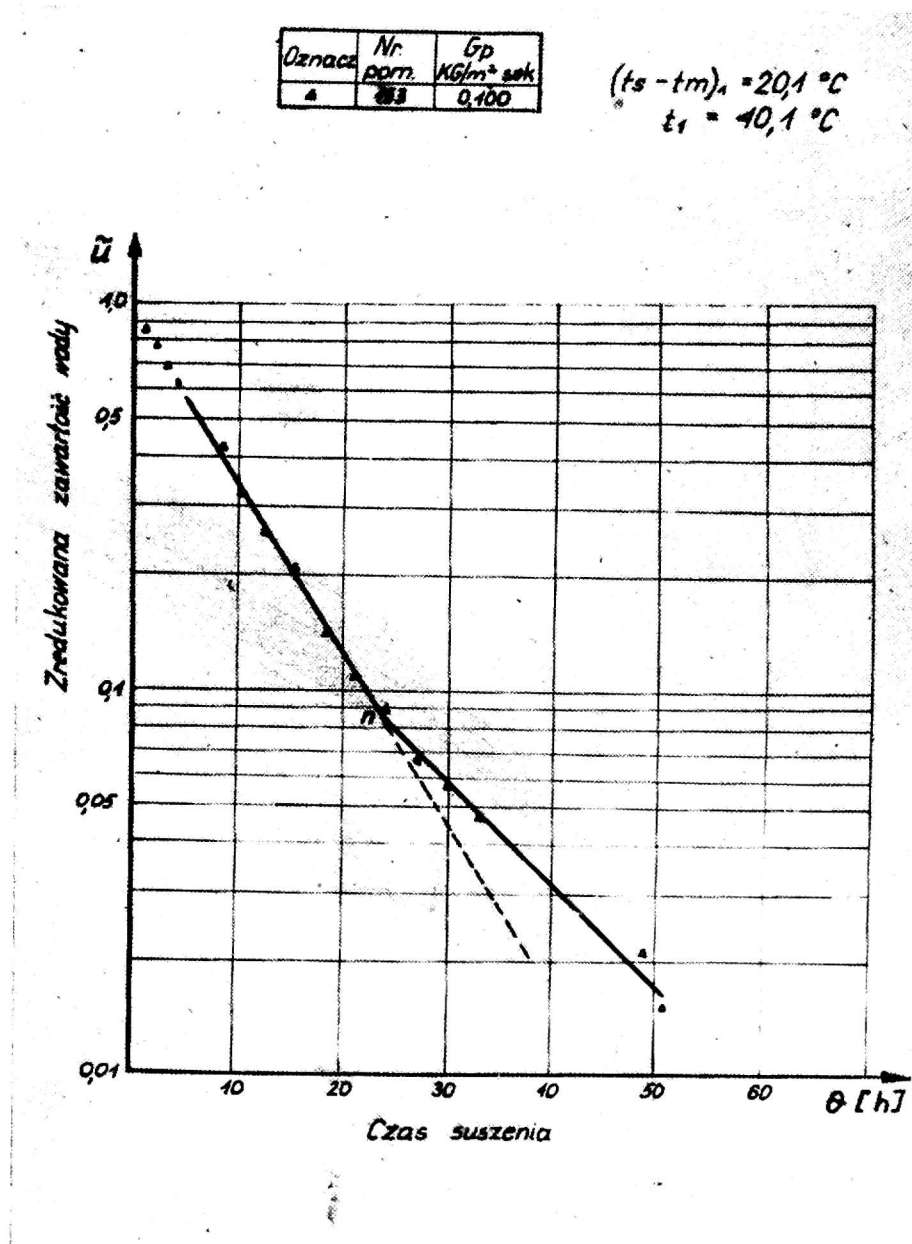
A więc:

$$\left(\frac{d\tilde{u}}{d\Theta}\right)_I = f(G_p) \quad (7)$$

Oraz, że:

$$\left(\frac{d\tilde{u}}{d\Theta}\right)_I = \text{const przy } G_p = \text{const}$$

Zredukowaną szybkość suszenia w I okresie suszenia na rys. 7 i 8 określa tangens nachylenia prostej (C).



Rys. 9. Krzywe $\tilde{u} = f(\Theta)$ z rys. 1 w podziałce półlogarytmicznej

Curves $\tilde{u} = f(\Theta)$ of fig. 1 in half-logarithmic scale

Ponieważ wiadomo z teorii suszenia, że szybkość suszenia w I okresie rzutuje na II okres suszenia, bardzo ważnym zagadnieniem z punktu widzenia rozważań matematycznych jest określenie punktu krytycznej zawartości wody U_k , oddzielającego I okres suszenia od drugiego okresu.

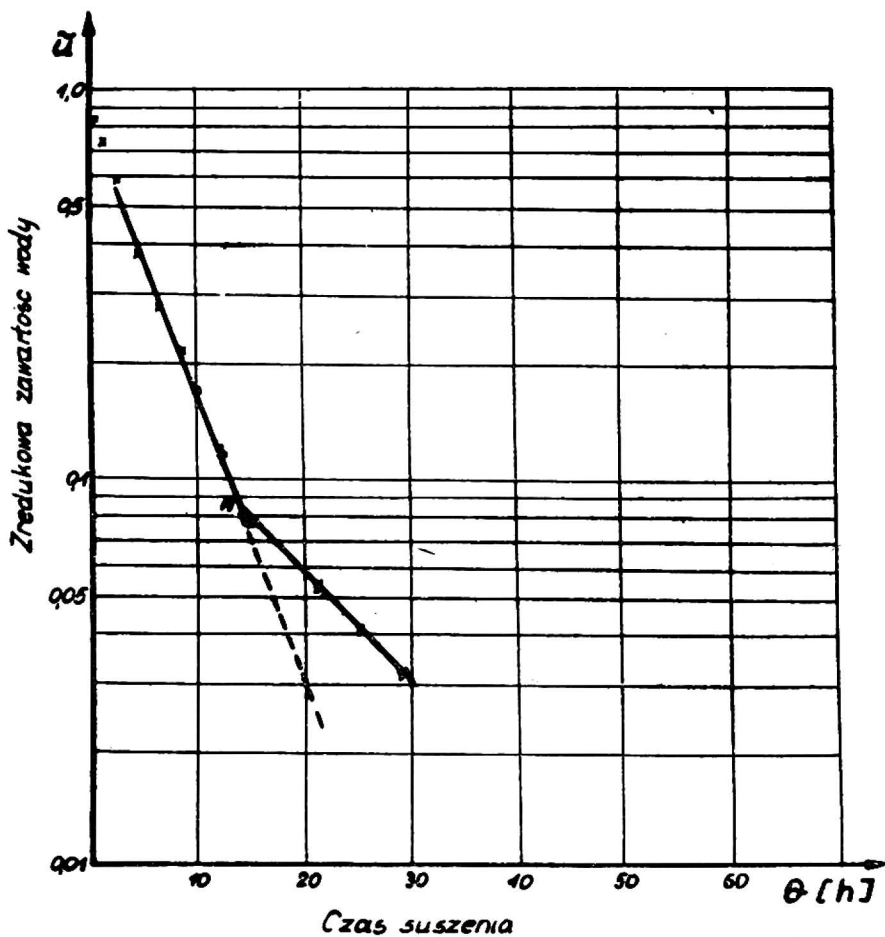
Punkt (k) na rys. 7 i 8 jest właśnie punktem krytycznej zredukowanej zawartości wody \tilde{u}_k , oddzielającym pierwszy okres suszenia od drugiego okresu w danych określonych warunkach suszenia ziela szaławii. Charakterystyczną cechą pierwszego okresu jest jego stała szybkość suszenia, natomiast drugi okres jest okresem malejącej szybkości suszenia.

Aby przeanalizować krzywe $\tilde{U} = f(\Theta)$ rys. 1 i 2 w II okresie suszenia, przedstawiono je przykładowo na wykresach rys. 9 i 10 w podziałce półlogarytmicznej.

Oznaczn.	Nr pom.	G_p kg/m ² ·sek
x	85	0,330

$$(t_s - t_m)_s = 20,3^\circ\text{C}$$

$$t_s = 40,8^\circ\text{C}$$



Rys. 10. Krzywe $\tilde{u} = f(\Theta)$ z rys. 2 w podziałce półlogarytmicznej

Curves $\tilde{u} = f(\Theta)$ of fig. 2 in half-logarithmic scale

Z wykresów rys. 9 i 10 widać, że II okres suszenia w podziałce półlogarytmicznej można przedstawić w postaci linii prostej. Ponadto stwierdzono również, że prosta II okresu suszenia charakteryzuje się (2 etapami) dwoma odcinkami prostych przecinających się w punkcie (n) rys. 9 i 10.

Występowanie wyżej omówionych zależności stwierdzono we wszystkich krzywych $\ddot{U} = f(\Theta)$, uzyskanych z przeprowadzonych pomiarów.

Pierwszy odcinek prostej rys. 9 i 10, można określić ogólnym równaniem:

$$\ln(\tilde{u}) = -K_1\Theta \quad (8)$$

skąd:

$$\tilde{u} = e^{-K_1\Theta} \quad (9)$$

Drugi odcinek prostej określa równanie:

$$\ln(\tilde{u}) - \ln(\tilde{U}_n) = -K_2(\Theta - \Theta_1) \quad (10)$$

skąd:

$$\tilde{U} = \tilde{U}_n e^{-K_2(\Theta - \Theta_1)} \quad (11)$$

gdzie:

K_1 i K_2 — są to współczynniki kierunkowe prostej, czyli tzw. „współczynniki suszarnicze“.

Z wykresów rys. 9 i 10 widać również, że szybkość suszenia szalwii w II okresie suszenia jest liniowo zależna od zawartości, wody w materiale oraz od współczynników suszarniczych K_1 i K_2 .

Reasumując dotychczas omówione zależności można stwierdzić, że szybkość suszenia w II okresie jest zależna od współczynników suszarniczych K_1 i K_2 , które zależą od natężenia przepływu powietrza G_p , przebiegu procesu suszenia w warstwie brzegowej X_1 , różnicy psychometrycznej $(t_s - t_m)_1$ oraz od obciążenia sita suchą masą materiału $M_s/F = X$.

Na podstawie dotychczasowych badań będących wynikiem pracy zaledwie jednego sezonu badawczego nie można było ująć i opracować całkowicie matematycznej metody przebiegu procesu suszenia i podać empiryczne lub półempiryczne wzory ujmujące zasadnicze związki zachodzące między parametrami procesu.

Dopiero po przeprowadzeniu następnych badań w roku 1960 można będzie zagadnienie uogólnić, wyprowadzić ostateczne wzory matematyczne, wyznaczyć współczynniki suszarnicze (K_1 i K_2), określić zasadnicze równanie suszenia i podać końcowe wnioski.

WPLYW PARAMETRÓW SUSZENIA NA JAKOŚĆ MATERIAŁU I ZAWARTOŚĆ OLEJKÓW ETERYCZNYCH

Na podstawie przeprowadzonych analiz stwierdzono, że najbardziej korzystnym natężeniem przepływu powietrza G_p , ze względu na równomierność wysychania w warstwie i jakość materiału jest natężenie $0,200 \leq G_p \leq 0,330$ przy temperaturze $t_1 = 40,5^\circ \text{C}$, dla ziela szalwii oraz $0,200 \leq G_p \leq 0,240$ przy temperaturze $t_1 = 32^\circ \text{C}$, dla ziela mięty i obciążeniu sit suszą masą M_s/F w granicach od 18 do 26 [kg/m^2].

Badania wykazały, że wzrost natężenia przepływu powietrza G_p w wymienionych granicach nie ma wpływu na zawartość olejków eterycznych w suszonym materiale ziela mięty i szalwii.

Przykładowo ilustruje to tabela 3, w której podano zawartość olejku dla szaławii w stosunku do suchej masy materiału przy różnych natężeniach przepływu powietrza G_p w granicach od 0,100 do 0,330 [kg/m² sek] oraz temperaturze czynnika suszącego $t_1 = 40,5^\circ \text{C}$. Próbkę nr 84, 110 i 111 są to próbki kontrolne suszone bez podgrzewania i podmuchu powietrza.

Wszystkie próbki zerowe nr 137 pobrane z surowca zebranego bezpośrednio z pola przed suszeniem, mają bardzo niski procent zawartości olejku, co spowodowane jest prawdopodobnie zagrzeniem się materiału w laboratorium wykonującym analizy na zawartość olejku.

Tabela 3

Tabela zawartości olejku dla szaławii

Nr próbki	Natężenie przepływu powietrza G_p [kg/m ³ sek]	Zawartość olejku w %	Nr próbki	Natężenie przepływu powietrza G_p [kg/m ³ sek]	Zawartość olejku w %	Nr próbki	Natężenie przepływu powietrza G_p [kg/m ³ sek]	Zawartość olejku w %
153	0,100	1,28	143	0,200	1,30	122	0,300	1,47
154	0,100	1,44	144	0,200	1,27	123	0,300	1,36
155	0,100	1,22	145	0,200	1,36	124	0,300	1,64
156	0,100	1,36	146	0,200	1,43	125	0,300	1,56
157	0,100	1,06	147	0,200	1,43	126	0,300	1,51
148	0,150	1,30	138	0,250	1,51	112	0,330	1,49
149	0,150	1,54	139	0,250	1,41	113	0,330	1,43
150	0,150	1,40	140	0,250	1,42	114	0,330	1,80
151	0,150	1,50	141	0,250	1,28	115	0,330	1,41
152	0,150	1,42	142	0,250	1,27	116	0,330	1,52
84	—	1,40	110	—	1,50	111	—	1,30
137	—	0,67						

Z badań wynika również, że zwiększenie natężenia przepływu powietrza dla szaławii z 0,100 [kg/m² sek] do 0,330 [kg/m² sek] przy tych samych pozostałych parametrach suszenia skraca czas suszenia o ponad 120%. Daje bardziej równomierne wysychanie materiału w warstwie przy obciążeniu sit suchą masą $M_s/F = 18$ [kg/m²], co przy suszeniu ziół szaławii i mięty ma decydujące znaczenie ze względu na samozagrzewanie surowca.

W tabeli 4 podano przykładowo zawartość olejku dla mięty w stosunku do suchej masy materiału przy różnych natężeniach przepływu powietrza G_p w granicach od 0,040 do 0,240 [kg/m² sek] oraz temperaturze czynnika suszącego $t_1 = 32^\circ \text{C}$.

Próbki nr 35, 36, 37, 38, 63_I, 64_{II}, 65_{III} i 66_{IV} są to próbki kontrolne, pobrane bezpośrednio z materiału przed suszeniem. Próbka nr 83 jest próbką suszoną na siatce w 10 cm warstwie w warunkach naturalnych.

Proces suszenia ziela mięty przebiega mniej więcej tak samo, jak suszenie szaławii i podlega tym samym zależnościom.

Tabela 4

Tabela zawartości olejku dla mięty

Nr próbki	Natężenie przepływu powietrza Gp [kg/m ³ sek]	Zawartość olejku w %	Nr próbki	Natężenie przepływu powietrza Gp [kg/m ³ sek]	Zawartość olejku w %	Nr próbki	Natężenie przepływu powietrza Gp [kg/m ³ sek]	Zawartość olejku w %
59	0,040	2,16	55	0,080	2,55	51	0,120	2,10
60	„	2,04	56	„	1,76	52	„	2,00
61	„	2,26	57	„	2,61	53	„	1,55
62	„	2,27	58	„	2,58	54	„	2,71
47	0,160	1,81	68	0,200	1,79	63	0,240	2,03
48	„	2,33	69	„	2,29	64	„	2,22
49	„	2,22	70	„	1,58	65	„	1,88
50	„	2,11	71	„	1,66	66	„	2,13
			72	„	1,65	67	„	2,21
55	—	2,28						
36	—	1,40	37	—	2,18	38	—	1,87
63 _I	—	1,71	64 _{II}	—	2,32	65 _{III}	—	2,26
66 _{IV}	—	2,19	83	—	1,51			

WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że:

1. W procesie suszenia ziela szaławii i mięty występuje bardzo wyraźnie I okres suszenia (najpierw wysychanie liści, a następnie lodyg).

2. Natężenie przepływu powietrza Gp przy stałej różnicy psychrometrycznej $(t_s - t_m)_1 = \text{const}$ ma decydujący wpływ na szybkość suszenia w I okresie suszenia. Charakteryzuje to tangens nachylenia prostej na początku krzywej suszenia, a krzywa suszenia to wypadkowa suszenia liści i lodyg.

3. Natężenie przepływu powietrza Gp przy stałej różnicy psychrometrycznej $(t_s - t_m)_1 = \text{const}$ ma decydujący wpływ na szybkość suszenia w II okresie suszenia. Charakteryzują to współczynniki suszarnicze K_1 i K_2 (współczynniki kierunkowe prostej).

4. Suszenie ziół w grubych warstwach zależne jest od:

- przebiegu suszenia warstwy brzegowej X_1 ,
- obciążenia sita suchą masą materiału $M_s/F = X$,
- natężenia przepływu powietrza Gp ,
- wilgotności materiału w danym miejscu warstwy u_1 ,
- różnicy psychrometrycznej $(t_s - t_m)_1$,
- czasu suszenia Θ .

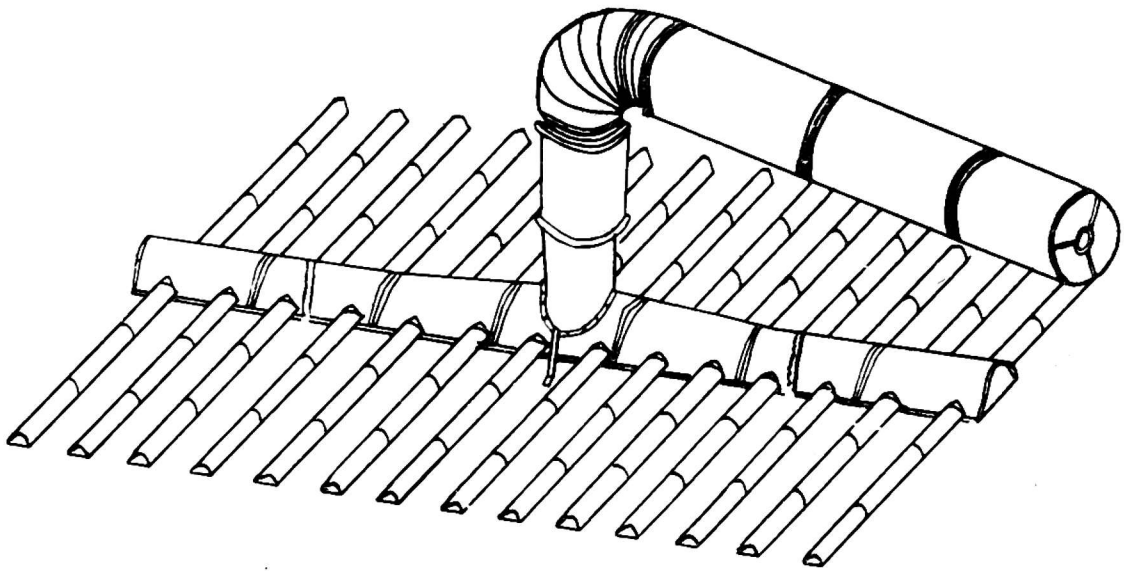
5. Stwierdzono, że natężenie przepływu powietrza Gp ma decydujący wpływ na szybkość suszenia ziół i równomierność wysychania w war-

stwie suszonego materiału przy stałej temperaturze czynnika suszącego, dla szałwii $t_1 = 40,5^\circ \text{C}$, a dla mięty $t_1 = 32^\circ \text{C}$.

6. Stwierdzono również, że najbardziej korzystnym z punktu widzenia ekonomicznego i jakości wysuszonego materiału, jest stosowanie w procesie suszenia ziela szałwii natężenia przepływu powietrza $0,200 \leq G_p \leq 0,330$ [kg/m² sek] przy temperaturze gazu suszącego $t_1 = 40,5^\circ \text{C}$, a dla ziela mięty $0,160 < G_p < 0,240$ [kg/m² sek] przy $t_1 = 32^\circ \text{C}$.

7. Stwierdzono również na podstawie przeszło 120 próbek poddanych specjalnej analizie laboratoryjnej, że natężenie przepływu powietrza oraz temperatura gazu suszącego stosowana w przeprowadzonych badaniach nie mają żadnego wpływu na zawartość olejków eterycznych (ciał czynnych) w suszonym materiale w stosunku do materiału świeżego (wyjściowego) oraz suszonego bez podgrzewania i podmuchu powietrza w cienkiej warstwie.

Dalsze badania pójdą w kierunku określenia wpływu różnicy psychrometrycznej $(t_s - t_m)_1$ na wzrost szybkości suszenia, a w szczególności na jakość materiału i zawartość ciał lotnych (olejków eterycznych) w suszonym ziele szałwii i mięty. Przeprowadzenie wyżej wymienionych badań pozwoli na pełne matematyczne ujęcie procesu suszenia i wyprowadzenie ostatecznych wzorów, które pozwolą przewidywać z dostateczną dla celów



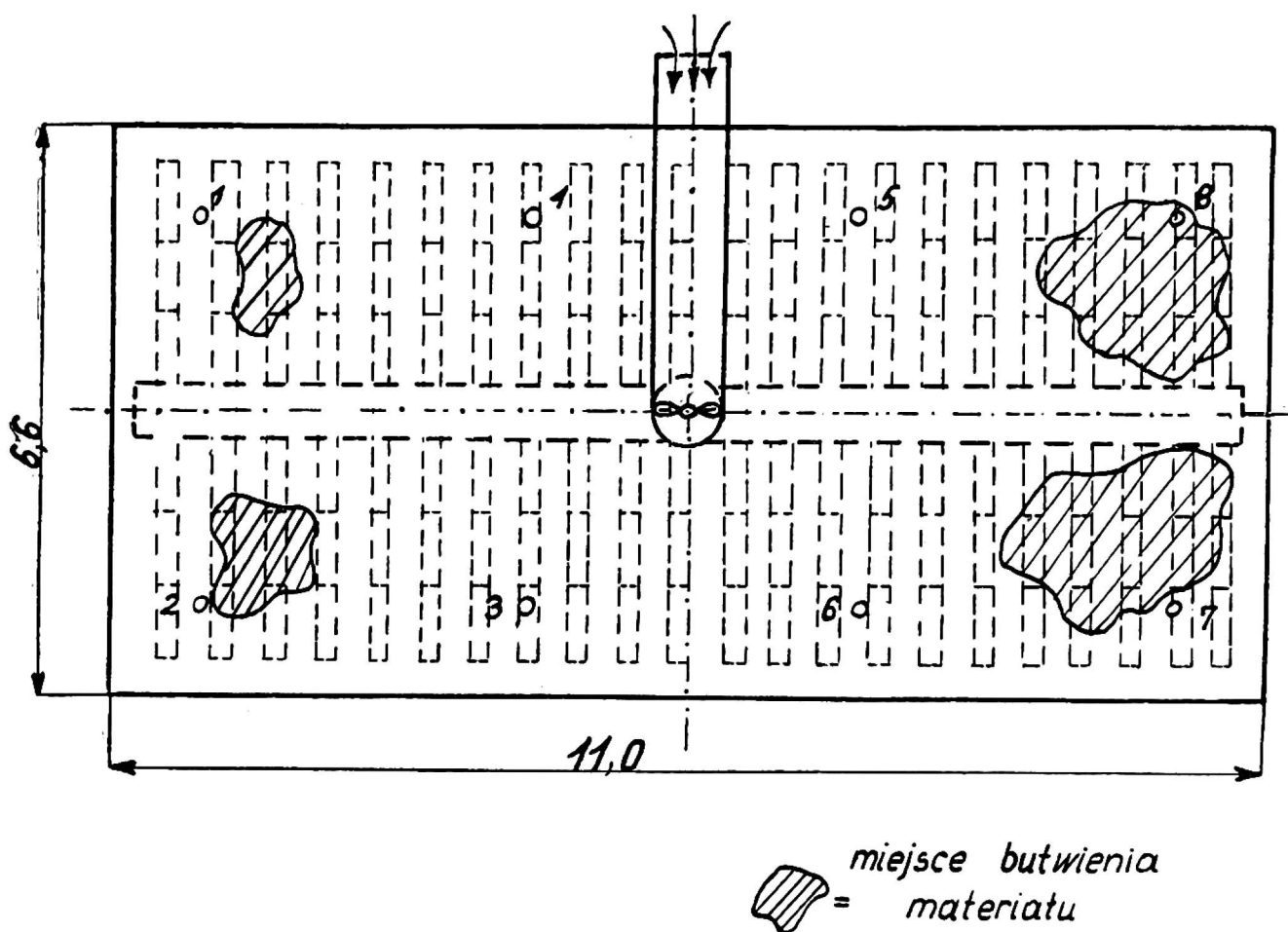
Rys. 11. Suszarnia podłogowa do ziarna SPZ-65
Floor dryer for grain SPZ-65

technicznych dokładnością, przebieg procesu i dobrać stosownie do wymogów technicznych natężenie przepływu powietrza przez warstwę suszonych ziół. Ponadto ujęcie procesu suszenia wzorami matematycznymi przyczyni się do racjonalnego konstruowania suszarni oraz do ustalenia właściwego i ekonomicznego procesu technologicznego.

Ziele mięty suszono również na suszarni podłogowej do ziarna SPZ-65 z elektrycznym podgrzewaczem powietrza, jak to podaje rys. 11.

Suszarnia wyposażona jest w wentylator osiowy ssąco-tłoczący o mocy 4,5 kW i wydajności powietrza $Q = 10\,000\text{--}16\,000$ [m³/h] (w zależności od porowatości materiału). Moc 2-zakresowego podgrzewacza elektrycznego wynosi 14 kW. Zarówno wentylator wraz z silnikiem elektrycznym jak i podgrzewacz znajdują się w pionowym przewodzie suszarni. Wymiary suszonej przyzmy i punkty pomiarowe oraz główny kanał powietrzny wraz z rynienkami rozprowadzającymi tłoczone przez wentylator powietrze przedstawia schematycznie rys. 12. Ogółem na powierzchnię suszarni około 66 m² w ciągu 2 dni załadowano 5300 kg ziela mięty o średniej wilgotności początkowej wynoszącej 74%.

Z 5300 kg ziela mięty uzyskano warstwę o grubości średnio ok. 96 cm. Surowiec na powierzchni suszarni układano bardzo luźno bez jakiego-



Rys. 12. Schemat punktów pomiarowych na wilgotność materiału i zawartość oleju
Design of points for measuring moisture and oil content of material

kolwiek najmniejszego ugniatania. Suszenie prowadzono przy średnim natężeniu przepływu powietrza $G_p = 0,220$ [kg/m² sek] i średniej różnicy psychometrycznej $(t_s - t_m)_1 = 4\text{--}6^\circ\text{C}$. Średnia temperatura powietrza wlotowego t_1 wynosiła od 18—22°C, a względna wilgotność powietrza wahała się w granicach od 50—70%. Suszarnia pracowała w dniach od 19 sierpnia 1959 r. do dnia 27 sierpnia 1959 r. dzień i noc, co stanowi 157,5 h efektywnej pracy wentylatora suszarni. W ciągu tych 8 dni suszarnia miała ponad 37 godzin przerwy w suszeniu, spowodowanej brakiem dopływu energii elektrycznej. Jedna z przerw wynosiła 21 [h].

Elektryczny podgrzewacz powietrza podnosił temperaturę powietrza wlotowego średnio od 1—2° C. Koszt eksploatacji suszarni na 1 godzinę efektywnej pracy wyniósł zł 6,05.

Surowiec wysuszono do wilgotności końcowej równej średnio ok. 14%.

Rysunek 12 przedstawia schematycznie punkty pomiarowe w suszonej przyźmie mięty oraz miejsca butwienia materiału (proporcjonalnie do wielkości przyźmy) spowodowane nierównomiernym rozproszaniem powietrza przez suszarnię. Z każdego punktu pomiarowego rys. 12, po zakończeniu suszenia pobrano 3 próbki na zawartość olejku i wilgotność materiału z górnej, środkowej i dolnej warstwy mięty.

Wyniki z pobranych próbek na zawartość olejku eterycznego podaje tabela 5.

Tabela 5

Tabela zawartości olejków

Nr próbki		Zawartość olejku w %	Nr próbki		Zawartość olejku w %
39	a	2,45	43	a	2,20
	b	2,17		b	2,44
	c	2,04		c	2,83
40	a	2,67	44	a	1,89
	b	2,16		b	1,75
	c	2,23		c	1,65
41	a	2,54	45	a	1,86
	b	2,06		b	1,84
	c	1,69		c	2,34
42	a	1,76	46	a	1,96
	b	1,87		b	2,19
	c	2,47		c	2,22

a — górna warstwa

b — środkowa warstwa

c — dolna warstwa

Sam proces przebiegu suszenia mięty przedstawiał się następująco: najpierw szybko powstała dolna warstwa składająca się z wysuszonego już ziela, która z wtłaczanym powietrzem nie przeprowadzała już poważniejszej wymiany wilgoci. Nad tą warstwą leżała dopiero właściwa, normalnie ku górze wędrująca strefa schnącego ziela mięty, w której powietrze nasycalo się wilgocią a surowiec schnął. Na końcu znajdowała się warstwa wilgotnego surowca, w której wilgoć równoważyła się z wilgotnym już powietrzem. W tym wypadku nie występowała już wymiana wilgoci, lecz chłodzenie materiału, chroniące surowiec przed niszczycielską pracą enzymów. Szybkość przesuwania się strefy suszenia jest w pierwszym rzędzie funkcją natężenia przepływu powietrza, a następnie wilgotności względnej powietrza.

Bardzo wilgotny jeszcze materiał w stosunkowo wilgotnym powietrzu pozbywa się częściowo wody, natomiast suchy materiał wymaga już do dalszego suszenia bardziej suchego powietrza.

Każdej wilgotności materiału odpowiada więc ściśle określona wilgotność powietrza, przy której powietrze i materiał pozostają w równowadze.

Dlatego też, podczas pracy wentylatora suszarni SPZ-65 w nocy, dolna warstwa mięty każdorazowo nawilgoła się, a górna mogła nieco schnąć. Jednak przy suszeniu ziół, które są bardzo wrażliwe na samozagrzewanie się, praca wentylatora suszarni w nocy i w czasie dużej wilgotności względnej powietrza jest jak najbardziej pożądana. Odnosi się to szczególnie do początkowego okresu suszenia (pierwsze trzy, cztery dni). Oczywiście na czasokres suszenia zasadniczy wpływ ma grubość warstwy suszonej mięty (obciążenie suszarni) i wilgotność względna powietrza (warunki atmosferyczne).

Przy dalszym suszeniu jest wskazane wyłączać wentylator suszarni w czasie dużej wilgotności powietrza (deszcz) oraz na noc.

Podobnie jak ziele mięty można również z dużym powodzeniem suszyć ziele szalwii, lecz suszarnia w tym wypadku, może być obciążona najwyższą połową obciążenia, jakie stosuje się przy suszeniu ziela mięty.