

BADANIA WIELOKRYTERIALNE OBÓR WOLNOSTANOWISKOWYCH ORAZ ODDZIAŁYWANIA PRAC MASZYN ROLNICZYCH NA ŚRODOWISKO

WYDANIE DRUGIE – ZMIENIONE I UZUPEŁNIONE

Redakcja naukowa:
prof. dr hab. inż. Wacław Romaniuk



OSTROŁĘCKIE
TOWARZYSTWO
NAUKOWE

**BADANIA WIELOKRYTERIALNE
OBÓR WOLNOSTANOWISKOWYCH
ORAZ
ODDZIAŁYWANIA PRAC MASZYN ROLNICZYCH
NA ŚRODOWISKO**

**BADANIA WIELOKRYTERIALNE
OBÓR WOLNOSTANOWISKOWYCH
ORAZ
ODDZIAŁYWANIA PRAC MASZYN ROLNICZYCH
NA ŚRODOWISKO**

Redakcja naukowa
prof. dr hab. inż. Wacław Romaniuk

Wydanie drugie – zmienione i uzupełnione



**Wydawnictwo Ostrołęckiego Towarzystwa Naukowego
im. Adama Chętnika**

Ostrołęka 2025

RECENZENCI

prof. dr hab. Józef Szlachta

Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu

dr hab. inż. Marek Gaworski

Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

AUTORZY MONOGRAFII

prof. dr hab. inż. Waclaw Romaniuk

– Instytut Technologiczno-Przyrodniczy – Państwowy Instytut Badawczy w Falentach

prof. dr hab. inż. Yuri V. Chigarev

– Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie

dr hab. inż. Zbigniew Skibko

– Politechnika Białostocka w Białymstoku

dr hab. inż. Andrzej Borusiewicz

– Międzynarodowa Akademia Nauk Stosowanych w Łomży

prof. dr hab. inż. Maciej Kuboń

– Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie

prof. dr hab. inż. Andrzej Marczuk

– Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

dr inż. Magdalena Bagińska

– Instytut Technologiczno-Przyrodniczy – Państwowy Instytut Badawczy w Falentach

ISBN 978-83-68680-23-2

© Copyright by Wydawnictwo Ostrołęckiego Towarzystwa Naukowego im. Adama Chętnika
Ostrołęka 2025

258 publikacja Ostrołęckiego Towarzystwa Naukowego im. Adama Chętnika

Wydawnictwo Ostrołęckiego Towarzystwa Naukowego im. Adama Chętnika

07-410 Ostrołęka, ul. Traugutta 9A

tel. +48 29 764-59-80

www.otn.ostroleka.pl/ct-menu-item-15

e-mail: otn.ostroleka@o2.pl

Projekt okładki: inż. arch. Aleksandra Żuchowska

Skład: Granave Art Ewa K. Czetwertyńska, Łomża

Druk: Drukarnia Hajstrea, Grodzisk Mazowiecki

Spis treści

WPROWADZENIE	11
--------------------	----

CZĘŚĆ I

1. MATEMATYCZNO-MECHANICZNY MODEL ROLNICZEGO ŚRODOWISKA	13
1.1. Naprężenia i odkształcenia w glebie.....	13
1.2. Ciało sprężyste	26
1.3. Ciało plastyczne	30
1.4. Lepkość i zdolność pełzania	37
1.5. Ciało Kelvina–Voichta.....	40
1.6. Ciało Makswella	42
1.7. Właściwości lepkości – plastyczności ciała.....	43
1.8. Ciało sprężysto lepko-plastyczne.....	44
1.9. Określenie właściwości reologicznych gleb	46
1.10. Rozłożenie naprężeń w środowisku granulowanym poprzez oddziaływanie sił skoncentrowanych.....	52
2. PARAMETRY ODDZIAŁYWANIA W MODELACH „MASZYNA – ŚRODOWISKO”	57
2.1. Charakterystyka kinematyczna kół oporowych maszyn rolniczych.....	57
2.2. Określenie sił oporowych gleby pod obwodem sztywnego koła	61
2.3. Poślizg i buksowanie.....	70
2.4. Deformacja opon.....	74
2.5. Ogólny przypadek działania układu sił przy wzajemnym kontaktowaniu	77

2.6.	Określenie sił oporu toczenia prowadzonego koła elastycznego na powierzchni ulegającej deformacji	80
2.7.	Przypadek współdziałania prowadzonego koła elastycznego z powierzchnią podlegającą deformacji	81
2.8.	Oddziaływanie odkształcalnego koła napędowego z glebą	83
2.9.	Wpływ występów na interakcję koła napędowego z glebą	88
2.10.	Określenie równowagi energetycznej pracy kombajnu	91
2.11.	Przejezdność systemu maszyn w terenie rolniczym (oporowa przejezdność ciągników gąsienicowych).....	93
2.12.	Przejezdność ciągników kołowych	97
2.13.	Przejezdność ciągników kołowych	97
2.14.	Wybrane metody oceny agrotechnicznej przejezdności	101
3.	METODY KSZTAŁTOWANIA SYSTEMU MASZYN.....	105
3.1.	Związek między organizacją środowiska i maszyną.....	105
3.2.	Wybór podstawowych parametrów środków technicznych w systemie maszyn	114
3.3.	Podsumowanie	117

CZĘŚĆ II

4.	METODOLOGIA BADAŃ ZRÓWNOWAŻONEJ PRODUKCJI ZWIERZECEJ NA PRZYKŁADZIE OBÓR WOLNOSTANOWISKOWYCH	119
4.1.	Wprowadzenie – informacje wstępne	119
4.2.	Wybór obiektów do badań	122
4.3.	Karta identyfikacyjna obiektu	129
4.4.	Model oceny i wyboru rozwiązania na podstawie minimalizacji jednostkowych kosztów eksploatacyjnych.....	136
4.5.	Wybór rozwiązań najkorzystniejszych	136

5.	BADANIA WIELOKRYTERIALNE OBÓR WOLNOSTANOWISKOWYCH	139
5.1.	Opis gospodarstwa nr 1 oraz budynku inwentarskiego stanowiącego przedmiot badań	140
5.1.1.	System chowu i system utrzymania w oborze w gospodarstwie nr 1	140
5.1.2.	Zagospodarowanie działki w gospodarstwie nr 1	141
5.1.3.	Charakterystyka techniczno-ekonomiczna obory w gospodarstwie nr 1	143
5.1.4.	Opis warunków środowiskowych w oborze gospodarstwa nr 1	145
5.1.5.	Opis procesu technologicznego w oborze gospodarstwa nr 1	146
5.1.6.	Określenie jednostkowych kosztów eksploatacji	149
5.2.	Opis gospodarstwa nr 2 oraz budynku inwentarskiego stanowiącego przedmiot badań	150
5.2.1.	System chowu i system utrzymania w oborze w gospodarstwie nr 2	150
5.2.2.	Zagospodarowanie działki w gospodarstwie nr 2	151
5.2.3.	Charakterystyka techniczno-ekonomiczna obory w gospodarstwie nr 2	152
5.2.4.	Opis warunków środowiskowych w oborze gospodarstwa nr 2	153
5.2.5.	Opis procesu technologicznego w oborze gospodarstwa nr 2	157
5.2.6.	Określenie jednostkowych kosztów eksploatacji	161
5.3.	Opis gospodarstwa nr 3 oraz budynku inwentarskiego stanowiącego przedmiot badań	162
5.3.1.	System chowu i system utrzymania w oborze w gospodarstwie nr 3	162
5.3.2.	Zagospodarowanie działki w gospodarstwie nr 3	163

5.3.3.	Charakterystyka techniczno-ekonomiczna obory w gospodarstwie nr 3.	165
5.3.4.	Opis warunków środowiskowych w oborze gospodarstwa nr 3	166
5.3.5.	Opis procesu technologicznego w oborze gospodarstwa nr 3	171
5.3.6.	Określenie jednostkowych kosztów eksploatacji	173
5.4.	Opis gospodarstwa nr 4 oraz budynku inwentarskiego stanowiącego przedmiot badań	175
5.4.1.	System chowu i system utrzymania w oborze w gospodarstwie nr 4	175
5.4.2.	Zagospodarowanie działki w gospodarstwie nr 4	175
5.4.3.	Charakterystyka techniczno-ekonomiczna obory w gospodarstwie nr 4	176
5.4.4.	Opis warunków środowiskowych w oborze gospodarstwa nr 4	177
5.4.5.	Opis procesu technologicznego w oborze gospodarstwa nr 4.	180
5.5.	Ocena badanych obiektów i wybór rozwiązania najkorzystniejszego	184
5.5.1.	Podsumowanie oceny zagospodarowania działek zagrodowych.....	184
5.5.2.	Ocena wielokryterialna zbadanych obór	187
5.5.3.	Końcowa ocena i wybór rozwiązań najkorzystniejszych	189
5.6.	Zastosowanie odnawialnych źródeł energii w oborach nr 3 i nr 4	191
5.6.1.	Wykorzystanie wymienników ciepła	191
5.6.2.	Odzysk ciepła podczas chłodzenia mleka	192
5.7.	Badania porównawcze obór dla bydła mlecznego w zakresie zabiegu II – przygotowania i zadawania pasz (o różnym systemie żywienia)	194

6.	UWARUNKOWANIA INWESTYCYJNE I BUDOWLANE PRZY ZASTOSOWANIU ROBOTÓW DO DOJU, PRZYGOTOWANIA, ZADAWANIA PASZ OBJĘTOŚCIOWYCH	195
6.1.	Uwarunkowania natury administracyjnej, prawne budowlane dla realizacji obiektów przeznaczonych dla bydła.....	196
6.2.	Uwarunkowania budowlane wynikające z technologii.....	199
6.2.1.	Obszar wypoczynkowy dla krów mlecznych.....	199
6.2.2.	Swobodny ruch krów mlecznych – rozwiązanie technologiczne	204
6.2.3.	Ograniczony, kierowany ruch krów mlecznych – rozwiązanie technologiczne	204
6.2.4.	Obszar poczekalni	205
6.2.5.	Obszar selekcji	207
	PODSUMOWANIE	209
	BIBLIOGRAFIA	210
	Streszczenie	213

WPROWADZENIE

Znacząca rola w intensyfikacji produkcji rolnej zarówno roślinnej, jak i zwierzęcej, należy do maszyn i urządzeń. Praktycznie we wszystkich kierunkach produkcji rolnej, rola maszyn i urządzeń odgrywa znaczącą pozycję w efektach produkcji pod względem jakościowym, jak również energetycznym i ekologicznym. W realizacji kompleksowych zadań technologicznych pośrednią rolę odgrywają warunki środowiska pracy maszyn i ich wpływ np. na glebę czy też kształtowanie warunków zdrowotnych zwierząt.

W opracowaniu składającym się z dwóch części: I część poświęcona jest metodologii działania maszyn rolniczych w produkcji roślinnej, a II część poświęcona jest metodologii zrównoważonej produkcji zwierzęcej.

W pierwszej części przedstawiono zagadnienia związane z oddziaływaniem właściwości środowiska, jakim jest głównie gleba i jej szczegółowa charakterystyka środowiska, w tym cechy fizyczne stanowiące elementy technologii uprawy przy zastosowaniu odpowiednich zestawów maszyn i urządzeń.

W projektowaniu zestawu maszyn do obróbki gleby w odniesieniu do planowanych upraw przedstawiono początkowe parametry wyjściowe oddziaływania technik na glebę w zależności od technologii i rodzaju upraw.

Drugą część pracy poświęcono podstawowym charakterystykom obiektów inwentarskich głównie dla bydła mlecznego, w zakresie technologii utrzymania, a także oceny przykładowych rozwiązań. Przedstawiona metodyka pozwala na identyfikację obiektów pod względem technologicznym, a mianowicie: elementów charakteryzujących obiekt badany w parametry dotyczące systemu chowu, parametry dotyczące wartości parametrów technologii, w tym mechanizacji wartości wskaźników jakościowych oraz wskaźników ekonomicznych. Uzyskane parametry wyżej wymienionych wskaźników pozwalają na ocenę i wybór rozwiązania według określonej funkcji celu i ograniczeń wynikających z potrzeb i możliwości inwestora.

W pracy zdefiniowana funkcja celu wynika zazwyczaj z minimalizacji jednostkowych kosztów eksploatacji przy produkcji np. mleka czy też mięsa, w zależności od kierunku chowu zwierząt. Ograniczeniami do określonej

funkcji celu przykładowo może być poziom mechanizacji wyrażony jednostkowymi nakładami robocizny, graniczna emisja gazów szklarniowych i amoniaku, czy też udziału minimalnych wartości energii odnawialnej.

CZEŚĆ I

1. MATEMATYCZNO-MECHANICZNY MODEL ROLNICZEGO ŚRODOWISKA

1.1. Naprężenia i odkształcenia w glebie

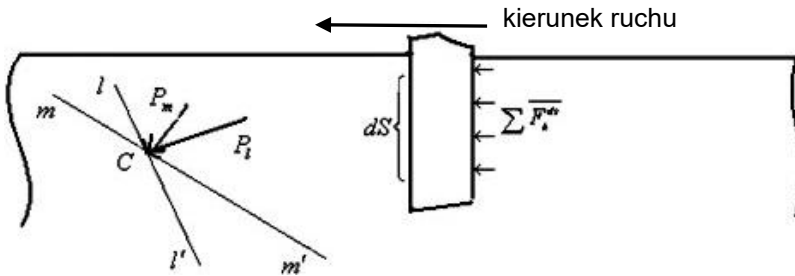
Rozpatrzone w poprzednim rozdziale fizyczne właściwości gleb są mało przydatne przy badaniu ich deformacji w procesie oddziaływania na maszyny rolnicze, gdyż nie można przedstawić równania matematyczno-mechanicznych cech, które uwzględniłyby deformację kontaktujących się ciał. W tym rozdziale rozpatrzone zostaną niektóre właściwości ciał, które tworzą model reologiczny, często wykorzystany do badania naprężeń i deformacji gleb i innych elementów rolniczych.

Przy pracy w polu maszyny i urządzenia oraz poszczególne ich części jak koła, pług, łapa kultywatora i inne mają bezpośredni kontakt z glebą. Z ich powierzchni działa na glebę suma sił, której odpowiada przeciwdziałanie. Opór gleby w punkcie A, znajdującym się na powierzchni deformatora rolniczego SD przedstawiono na rysunku 1.1. Jeżeli pole wokół wałka punktu A, oznaczone zostanie przez ds , to na ten odcinek wałka działać będzie suma sił oporu $\sum \bar{F}_k$, która zależy od twardości gleby, prędkości poruszania i rozkładu ds na elementy robocze:

$$\lim_{ds \rightarrow 0} \frac{\sum \bar{F}_k}{ds} = \bar{\sigma} \quad (1.1)$$

Wartość σ nazywa się naprężeniem w punkcie A. Ponieważ ucisk ze strony organu roboczego przy jego ruchu będzie oddziaływać w głąb i wszędy,

w związku z tym istotne jest określenie naprężeń w punktach przekroju gleby, na przykład w punkcie C.



Rys. 1.1. Schemat oddziaływania sił w części elementu roboczego i w punktach masywu glebowego

W celu wyznaczenia naprężenia, należy przeprowadzić płaszczyznę l' przez punkt C, a w obrębie punktu C wyznaczyć małą powierzchnię dL , rozmieszczoną na płaszczyźnie l' , na którą oddziałuje suma sił $\sum \bar{P}_k^{(dL)}$. Wówczas zgodnie ze wzorem 1.1 naprężenie działające na powierzchnię dL wynosi:

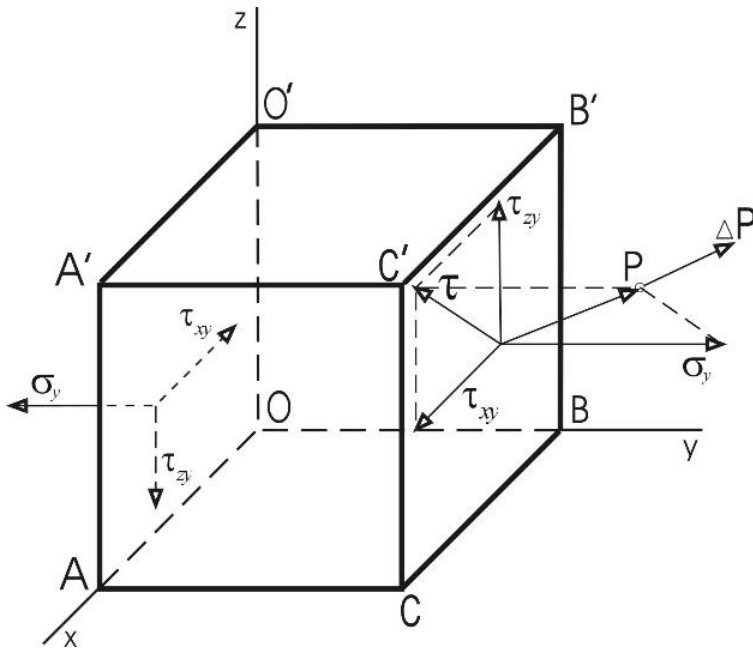
$$\lim_{dS \rightarrow 0} \frac{\sum \bar{P}_k^{(dL)}}{dL} = \bar{\sigma}_l \quad (1.2)$$

Jeśli rozpatrywać powierzchnię mm' na tej płaszczyźnie, to na nią będzie oddziaływać naprężenie σ_m , inne niż σ_l . Przez punkt C można przeprowadzić nieskończenie dużo różnych płaszczyzn i w związku z tym otrzymać taką ilość działających na nią naprężeń. W ten sposób przedstawione podejście nie pozwala wykorzystać do określenia naprężeń w punkcie C, gdyż ani liczba, ani wektor nie pozwalają na jednoznaczną charakterystykę naprężenia w punkcie C. Dlatego niezbędne jest inne podejście związane z objętością z wartościami dx , dy , dz , wewnątrz której znajduje się punkt C.

Ucisk ze strony narzędzi pracy działają we wszystkich kierunkach objętości, w związku z czym może prowadzić do deformacji, przemieszczania się

i rozbicia. Obliczając ucisk na powierzchnię płaszczyzny zgodnie z równaniem 1.1, otrzymuje się naprężenie, którego kierunek będzie odpowiadać kierunkowi sił, a liczbową wartość można określić na podstawie wzoru 1.1. Tak na krawędzi $BCC'B'$ będą oddziaływać siły $\Delta\bar{P}$ z naprężeniem \bar{P} , a po jej rozkładzie wzdłuż osi x, y, z z naprężeniem $\sigma_y, \tau_{yx}, \tau_{yz}$. Analogicznie rozumowanie można przeprowadzić dla sił oddziaływujących na krawędzi $AA'C'C$ i $A'O'B'C'$, na które będą oddziaływać odpowiednio naprężenia $\sigma_x, \tau_{xy}, \tau_{xz}$ i $\sigma_y, \tau_{yx}, \tau_{yz}$. Naprężenia $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ nazywane są naprężeniami normalnymi, naprężenia $\tau_{xy}, \tau_{xz}, \tau_{yx}, \tau_{yz}, \tau_{zx}, \tau_{zy}$ nazywane są przynależnymi lub przesunięciami.

W normalnych naprężeniach indeks umieszczony na dole wskazuje, równoległe na jakiej osi występuje dane naprężenie. W przyległych naprężeniach pierwsza litera dolnego indeksu jest taka sama jak indeks normalnego naprężenia na tę płaszczyznę, a druga litera oznacza oś współrzędną, która jest współrzędną danego naprężenia przesunięcia.



Rys. 1.2. Naprężenia na ścianach sześcianu elementarnego w pewnym punkcie masywu gleby

Normalne naprężenie zwykle jest dodatnie, jeśli powoduje rozciągnięcie elementu gleby, a ujemne w przypadku ściskania. Naprężenie przesunięte także jest dodatnie i skierowane w stronę ujemnego kierunku odpowiedniej osi współrzędnych, jeśli wewnętrzna normalna do powierzchni jest zgodna z ujemnym kierunkiem osi współrzędnych.

Składniki naprężeń można zapisać w postaci maczy:

$$T_H = \begin{bmatrix} \sigma_x & \tau_{yx} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_z \end{bmatrix} \quad (1.3)$$

którą nazywa się tensorem naprężenia.

Wybrane właściwości maczy naprężeń:

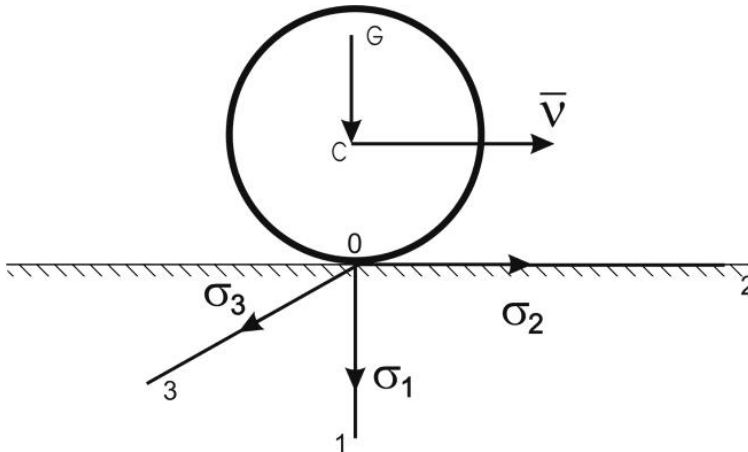
- 1) liczbowe wartości składowych maczy zależą od wyboru układu współrzędnych;
- 2) maczy symetryczna względem składowej głównej przekątnej

$$\tau_{xy} = \tau_{yx} \ ; \ \tau_{xz} = \tau_{zx} \ ; \ \tau_{yz} = \tau_{zy} \quad (1.4)$$

- 3) maczy zawsze można przedstawić w osiach głównych naprężeń 1, 2, 3, w kierunku który odpowiada głównemu naprężeniu: σ_1 – największe główne naprężenie, σ_2 – średnie główne naprężenie, σ_3 – najmniejsze główne naprężenie. W tym przypadku przyległe naprężenia są zerowej wartości i wtedy maczy przyjmuje postać

$$\begin{bmatrix} \sigma_1 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_3 \end{bmatrix} \quad (1.5)$$

Przedstawiona matryca ze względu na swoją prostotę, jest najbardziej wygodną do określenia naprężeń w punkcie i dlatego używana jest powszechnie, jeśli znane są kierunki osi głównych. Na przykład dla prowadzącego koła ciągnika bez obciążenia pod środkiem koła, główne osie rozmieszczone są tak, jak przedstawiono na rysunku 1.3.



Rys. 1.3. Rozkład głównych naprężeń pod kołem głównym

W zależności od obciążenia osiowego G , główne naprężenie σ_1 , σ_2 , σ_3 może przyjmować różne wartości. Jeśli na przykład $\sigma_1 = 300$ kPa, $\sigma_2 = 150$ kPa, $\sigma_3 = 100$ kPa, wtedy można zapisać:

$$T_H = \begin{bmatrix} 300 & 0 & 0 \\ 0 & 150 & 0 \\ 0 & 0 & 100 \end{bmatrix} \text{ (kPa)}$$

W przypadku $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ występuje ciśnienie hydrostatyczne i wszystkie krawędzie objętości podlegają jednakowemu normalnemu naprężeniu, a brzegowe naprężenie jest równe zero. Składniki matrycy naprężeń odpowiadają trzem wariantom:

$$\begin{aligned}
 I_1 &= \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 \\
 I_2 &= \sigma_x \sigma_y + \sigma_x \sigma_z - \tau_{xy}^2 - \tau_{xy}^2 - \tau_{xy}^2 = \sigma_1 \sigma_2 + \sigma_1 \sigma_3 + \sigma_2 \sigma_3 \\
 I_3 &= \sigma_x \sigma_y \sigma_z + 2 \tau_{xy} \tau_{xz} \tau_{yz} - \sigma_x \tau_{xy}^2 - \sigma_y \tau_{xy}^2 - \sigma_z \tau_{xy}^2 = \sigma_1 \sigma_2 \sigma_3
 \end{aligned} \tag{1.6}$$

Rozpatrzone zostanie osiowe ściskanie gleby w cylindrze o małych rozmiarach. W tym przypadku cylindryczna próbka gleby będzie podlegać naciskowi z obu stron przez normalne naprężenie σ_1 , a na powierzchni bocznej w kierunku głównych osi 2 i 3 z naprężeniem $\sigma_2 = \sigma_3 = \sigma_m$. Stan naprężenia w każdym punkcie będzie określone tensorem naprężenia.

$$T_H = \begin{bmatrix} \sigma_1 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_2 = \sigma_m & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_3 = \sigma_m \end{bmatrix} \tag{1.7}$$

Jeżeli próbka gleby w formie kuli podlega wszechstronnemu uciskowi lub rozciągnięciu, wtedy naprężenie w każdym punkcie próbki będzie określone równaniem

$$T_H = \begin{bmatrix} \sigma_1 = \sigma_m & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_2 = \sigma_m & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_3 = \sigma_m \end{bmatrix} \tag{1.8}$$

Równania ruchu punktów masy gleby

Wiadomo, że do sformułowania równania ruchu absolutnie twardego ciała, niezbędne jest porównanie do zera główny wektor i główny moment oddziaływania na niego sił zewnętrznych i inercji. Dla sformowania równań ruchu ciała podlegającego deformacji, niezbędne jest porównanie do zera głównego wektora, moment sił i moment sił inercji, przyłożonych do dowolnej części ciała, którą można od niego wydzielić.

Wyróżnia się w masywie glebowym pewną dowolną objętość V o ograniczonej powierzchni S (w szczególności, to może być rozpatrywana przez nas objętość). Ze strony części maszyny rolniczej na element dS powierzchni wydzielonej z objętości działa siła $d\vec{P}$, wtedy wektor przyjmie postać:

$$\bar{\Phi}_n = \frac{d\bar{P}}{dS} \quad (1.9)$$

która przedstawia sobą siłę, w stosunku do jednostki powierzchni sił, przyłożonych do całej powierzchni S , będzie określone poprzez równania.

$$\bar{R} = \int \bar{\Phi}_n dS \quad (1.10)$$

$$\bar{L} = \int_S^S (\bar{r} \times \bar{\Phi}) dS \quad (1.11)$$

gdzie: r jest wektorem promienia punktu przyłożenia siły względem początku.

Jeśli ρ jest gęstość gleby, to masa elementarnej objętości dV jest równa $dm = \rho dV$. Przy założeniu, że na tę masę działa siła dQ , wtedy wektor $\bar{F} = d\bar{Q}/dm$ stanowi siła w stosunku do jednostki masy w danym punkcie. Określone w ten sposób siły nazywane są siłami masy. Oprócz sił powierzchniowych ϕn i masowych F istnieją również siły objętościowe:

$$\bar{F}_V = \frac{d\bar{Q}}{dV} = \rho \frac{d\bar{Q}}{dm} = p\bar{F} \quad (1.12)$$

Główny wektor i główny moment sił działających na całą objętość przedstawia równanie:

$$\bar{R} = \int_V \rho \bar{F} dV \quad (1.13)$$

$$\bar{L} = \int_V \rho (\bar{r} \cdot \bar{F}) dV \quad (1.14)$$

Aby przedstawić równanie ruchu rozpatrywanego elementu gleby o objętości V , są następujące wzory:

$$\int_V \rho(\bar{F} - \bar{a}) dV + \int_S \bar{\Phi}_n dS = 0 \quad (1.15)$$

$$\int_V [\bar{r} \rho(\bar{F} - \bar{a})] dV + \int_S (\bar{r} + \bar{\Phi}_n) dS = 0 \quad (1.16)$$

gdzie: a – przyspieszenie elementu gleby.

Równanie 1.15 w lewej części przedstawia sobą główny wektor objętości, sił powierzchniowych i siły inercji $\rho \bar{a} dV$. Lewa część równania 1.16 przedstawia główny moment objętości sił powierzchniowych i inercji. Należy zaznaczyć, że obecność sił inercji w równaniach 1.13 i 1.14 należy uwzględniać tylko razem działaniem dynamicznym urządzeń rolniczych na glebę. Z równań 1.13 i 1.14 poprzez serię przekształceń w odniesieniu do osi współrzędnych ortogonalnego przekształcenie odnośnie współrzędnych osi ortogonalnej systemu współrzędnych x_1, x_2, x_3 , można zapisać równaniem w postaci, w której często się wykorzystuje w zadaniach mechaniki ciał deformowanych.

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \sigma_{11}}{\partial x_1} + \frac{\partial \sigma_{21}}{\partial x_2} + \frac{\partial \sigma_{31}}{\partial x_3} + \rho F_1 &= p a_1 \\ \frac{\partial \sigma_{12}}{\partial x_1} + \frac{\partial \sigma_{22}}{\partial x_2} + \frac{\partial \sigma_{32}}{\partial x_3} + \rho F_2 &= p a_2 \\ \frac{\partial \sigma_{13}}{\partial x_1} + \frac{\partial \sigma_{23}}{\partial x_2} + \frac{\partial \sigma_{33}}{\partial x_3} + \rho F_3 &= p a_3 \end{aligned} \right\} \quad (1.16)$$

gdzie komponenty naprężeń przedstawiają matrycę:

$$\begin{pmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \sigma_{13} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} & \sigma_{23} \\ \sigma_{31} & \sigma_{32} & \sigma_{33} \end{pmatrix} \quad (1.17)$$

Składowe wchodzące w główną przekątną, nazywane są naprężeniami normalnymi, a pozostałe stycznymi. Wymienione właściwości tensora naprężeń rozprzestrzeniają się także na tensor naprężeń, które zapisuje się jako składowe σ_{ij} ($i, j = 1, 2, 3$).

Przyjmując normalne warunki dodawania według powtarzających się indeksów, wzór zróżnicowany 1.16 przyjmie postać:

$$\frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_i} + \rho F_i = \rho a_i \quad (1.18)$$

Jeśli rozpatrywany element środowiska glebowego znajduje się w stanie równowagi, to siły inercji są równe zeru i wtedy wzór 1.18 przyjmie postać:

$$\frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_i} + \rho \cdot F_i = 0 \quad (1.19)$$

Przy braku sił masy F_i równania równowagi przyjmie prostą postać:

$$\frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_i} = 0 \quad \text{lub} \quad \sigma_{ij,i} = 0 \quad (1.20)$$

W warunkach równowagi zerowej głównego momentu wszystkich sił oddziaływujących na elementarną objętość i sił inercji wynika, że tensor naprężeń jest symetryczny:

$$\sigma_{ij} = \sigma_{ji} \quad (1.21)$$

Główne naprężenie $\sigma_1 = \sigma_{11}$, $\sigma_2 = \sigma_{22}$, $\sigma_3 = \sigma_{33}$ stanowią istotny składnik równania sześciennego:

$$|\sigma_{ij} - \sigma \delta_{ij}| = 0 \quad (1.22)$$

gdzie δ_{ij} jest symbolem Kroneckera:

$$\delta_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{gdy } i = j \\ 0, & \text{gdy } i \neq j \end{cases}$$

W postaci rozwiniętej równanie 1.22 zapisuje się następująco:

$$\sigma^3 - J_1(T_H)\sigma^2 - J_2(T_H)\sigma - J_3(T_H) = 0 \quad (1.23)$$

Współczynniki J_1, J_2, J_3 są wariantami tensora naprężeń T_H . Pierwszy wariant to suma normalnych naprężeń:

$$J_1 = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 = \sigma_{ii} \quad (1.24)$$

i określa średnie (hydrostatyczne) naprężenie gleby

$$\sigma_0 = \frac{1}{3} \sigma_{ii} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3} \quad (1.25)$$

Drugi wariant ma postać:

$$J_2 = \sigma_1\sigma_2 + \sigma_2\sigma_3 + \sigma_3\sigma_1 = \frac{1}{2}(\sigma_{ij}\sigma_{ij} - \sigma_{ii}\sigma_{ij}) \quad (1.26)$$

Trzeci wariant zapisuje się w postaci:

$$J_3 = \sigma_1 \sigma_2 \sigma_3 = |\sigma_{ij}| \quad (1.27)$$

Przy istniejącym związku między naprężeniem i deformacją ważne znaczenie odgrywa dewiator naprężeń, składniki którego określa się ze stosunku:

$$S_{ij} = \sigma_{ij} - \frac{1}{3}(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)\delta_{ij} \quad (1.28)$$

Warianty dewiatora tensora naprężeń przyjmują postać:

$$J_1(S) = S_{11} + S_{22} + S_{33} = 0 \quad (1.29)$$

$$J_2(S) = \begin{vmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} S_{11} & S_{13} \\ S_{31} & S_{23} \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} S_{22} & S_{32} \\ S_{23} & S_{33} \end{vmatrix} \quad (1.31)$$

$$J_3(S) = \begin{vmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} \\ S_{21} & S_{22} & S_{23} \\ S_{31} & S_{32} & S_{33} \end{vmatrix} \quad (1.32)$$

W niektórych przypadkach warianty mogą mieć wartość zerową. Na przykład, jeśli $J_3 = 0$, to jeden ze składników równania (1.22) także będzie równy 0 i ciało znajduje się w płaskim położeniu. W szczególności, przy przesunięciu następuje naprężenie płaskie:

$$\sigma_1 = -\sigma_3 \quad \sigma_2 = 0$$

Jeśli $J_2 = J_3 = 0$, to równanie 1.25 ma zerowe wartości i tylko jedno z głównych naprężeń różni się od zera. W tym przypadku stan naprężenia nazywa się jednoosiowym.

Analogicznie jak naprężenia występują deformacje normalne i deformacje przesunięcia. Jeśli krawędź rozpatrywanego sześcianu gleby przed deformacją miała długość l , a po deformacji $l + \Delta l$, to Δl będzie absolutną deformacją, a stosunek:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \quad (1.33)$$

Wskaźnik ten określa względną normalną deformacją rozpatrywanego elementu gleby.

Przed deformacją krawędź sześcianu posiada kąty proste, po deformacji kąty ulegają zmianie. Jeśli w wyniku deformacji pozioma płaszczyzna krawędzi ulega przemieszczeniu na mały kąt α w kierunku odwrotnym do wskazówki zegara, pionowa płaszczyzna przemieszcza się na mały kąt β zgodnie z ruchem wskazówek zegara, wtedy deformacja przesunięcia prostego kąta krawędzi sześcianu wyniesie kąt $\gamma = \alpha + \beta$. Przy obliczaniu przesunięcia deformacji wygodniej przyjąć za $0,5 (\alpha + \beta)$.

W ten sposób, przy deformowaniu stron elementarnego sześcianu przekształca się w równoległoscian ze zmianą długości ścian i kątów. Normalną względną deformacją krawędzi sześcianu w kierunku osi z oznacza się ε_z . Deformację przesunięcia płaszczyzny x, y, z krawędzi podstawowego sześcianu między kierunkami x i y oznacza się ε_{xy} . Deformację przesunięcia krawędzi stron podstawowego sześcianu między kierunkami x i z oznacza się ε_{xz} .

Deformację przesunięcia krawędzi płaszczyzn elementarnego sześcianu między w kierunku y i z oznacza się ε_{yz} . Z sześciu składowych deformacji można przedstawić symetryczną macierz tensora deformacji przesunięcia krawędzi stron podstawowego sześcianu między kierunkami x i z oznacza się ε_{xz} :

$$T_D = \begin{bmatrix} \varepsilon_x & \varepsilon_{xy} & \varepsilon_{xz} \\ \varepsilon_{yx} & \varepsilon_y & \varepsilon_{yz} \\ \varepsilon_{zx} & \varepsilon_{zy} & \varepsilon_z \end{bmatrix} \quad (1.34)$$

gdzie: $\varepsilon_{xy} = \varepsilon_{yx}$; $\varepsilon_{xz} = \varepsilon_{zx}$; $\varepsilon_{yz} = \varepsilon_{zy}$.

Analogicznie tensor naprężenia normalnej deformacji oznacza się jako $\varepsilon_{11}, \varepsilon_{22}, \varepsilon_{33}$, a deformację przesunięcia $\varepsilon_{12} = \varepsilon_{21}$; $\varepsilon_{13} = \varepsilon_{31}$; $\varepsilon_{23} = \varepsilon_{31}$.

Wtedy tensor deformacji przyjmie postać:

$$T_D = \begin{bmatrix} \varepsilon_{11} & \varepsilon_{12} & \varepsilon_{13} \\ \varepsilon_{21} & \varepsilon_{22} & \varepsilon_{23} \\ \varepsilon_{31} & \varepsilon_{32} & \varepsilon_{33} \end{bmatrix} \quad (1.35)$$

Składowe tensora deformacji można przedstawić w postaci jako ε_{ij} , które są symetryczne względem głównej przekątnej, tj. $\varepsilon_{ij} = \varepsilon_{ji}$ ($i, j = 1, 2, 3$).

Jeśli rozkład współrzędnych przyjąć taki, żeby wszystkie przesunięcia deformacji były równe zero, wtedy wśród normalnych deformacji można wybrać największą wartość, średnią i najmniejszą, które będą głównymi deformacjami i oznacza się je odpowiednio ε_1 , ε_2 , ε_3 . Kierunek głównych deformacji jest zgodny z głównym kierunkiem osi współrzędnych, w związku z tym także z głównymi naprężeniami. W tym przypadku tensor deformacji przyjmie postać:

$$T_D = \begin{bmatrix} \varepsilon_1 & 0 & 0 \\ 0 & \varepsilon_2 & 0 \\ 0 & 0 & \varepsilon_3 \end{bmatrix} \quad (1.36)$$

gdzie: $\varepsilon_1 \geq \varepsilon_2 \geq \varepsilon_3$.

Analogicznie zgodnie z teorią naprężeń, główne deformacje oblicza się według wzoru:

$$|\varepsilon_{ij} - \varepsilon \delta_{jj}| = 0; (\varepsilon = \varepsilon_{ij} \delta_{ij}) \quad (1.37)$$

W postaci rozwiniętej równanie sześcienną przyjmie formę:

$$\varepsilon^3 - J_1(\varepsilon)\varepsilon^2 + J_2(\varepsilon)\varepsilon - J_3 = 0 \quad (1.38)$$

gdzie:

$$J_1(\varepsilon) = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 = \varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z$$

$$J_2(\varepsilon) = \varepsilon_1\varepsilon_2 + \varepsilon_2\varepsilon_3 + \varepsilon_3\varepsilon_1$$

$$J_3(\varepsilon) = \varepsilon_1\varepsilon_2\varepsilon_3$$

Wartość ε_i , jako główne wydłużenia, nie zależy od wyboru osi współrzędnych, dlatego wartości $J_1(\varepsilon)$, $J_2(\varepsilon)$, $J_3(\varepsilon)$ stanowią warianty tensora deformacji odnośnie obrotu osi współrzędnych.

Jednym z głównych zadań w czasie badań naprężeń i deformacji gleby jest określenie zależności funkcjonalnej między δ a ε . W zależności od sił zewnętrznych i fizycznych właściwości, gleba odznacza się zwiększoną twardością, to nawet większe naprężenia spowodują tylko niewielkie deformacje, podczas gdy deformacja pulchnej gleby będzie znaczna, nawet przy niewielkich naprężeniach.

Dlatego w każdym konkretnym stanie gleby związek między tensorem naprężeń i deformacji będzie można wyrazić jako:

$$T_H = f(T_D) \quad (1.39)$$

Gleba należy do modelu ciał podlegających deformacji, której właściwości mogą być bardzo różnorodne. Wymaga to konieczność idealizowania i uproszczeń, przy tworzeniu modelu, który by opisywał główne charakterystyczne właściwości. Takim wzorcem jest model ciała plastycznego, sprężystego, lepkiej cieczy.

1.2. Ciało sprężyste

W silnie zagęszczonych glebach, na przykład, w wyniku wielokrotnego przejazdu kół ciągnika po jednym i tym samym tym samym śladzie, a także w niektórych punktach warstwy podornej, związek pomiędzy naprężeniami i deformacjami można uważać za prostoliniowy i określić na podstawie prawa Hooke'a. Często sądzi się, że gleba jest jednorodna, jednak z reguły, może ona posiadać różne właściwości sprężystości w różnych kierunkach. Ciało, którego właściwości sprężyste są różne w poszczególnych kierunkach, nazywa się anizotropowymi. Natomiast jeśli właściwości sprężystości są jednakowe w dowolnym kierunku, nazywa się izotropowymi.

W ciele anizotropowym zależność między naprężeniami a deformacjami wyraża się w postaci równań liniowych:

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_x &= a_{11}\sigma_x + a_{12}\sigma_y + \dots + a_{16}\tau_{xy}; \\ \varepsilon_y &= a_{21}\sigma_x + a_{22}\sigma_y + \dots + a_{26}\tau_{xy}; \\ \varepsilon_z &= a_{31}\sigma_x + a_{32}\sigma_y + \dots + a_{36}\tau_{xy}; \\ \gamma_{yz} &= a_{41}\sigma_x + \dots + a_{46}\tau_{xy}; \\ \gamma_{zx} &= a_{51}\sigma_x + \dots + a_{56}\tau_{xy}; \\ \gamma_{xy} &= a_{61}\sigma_x + \dots + a_{66}\tau_{xy}; \end{aligned} \right\} \quad (1.40)$$

Współczynniki α_{ij} charakteryzują podatność ciała sprężystego. Im są większe, tym większe deformacje przy tych samych naprężeniach. Spośród 36 stałych sprężystości α , niezależnymi jest tylko 21. Matryca współczynników α_{ij} jest symetryczną względem głównej przekątnej $\alpha_{ij} = \alpha_{ji}$.

Ciało posiadające trzy wzajemnie prostopadłe płaszczyzny z symetrycznie sprężystymi właściwościami, nazywa się ortogonalnie ortotropowymi lub w uproszczeniu ortotropowym. Dla ciała ortotropowego liczba stałych sprężystych obniża się do 9, a równanie ogólne prawa Hooke'a przyjmują postać

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_x &= a_{11}\sigma_x + a_{12}\sigma_y + a_{13}\sigma_z; \\ \varepsilon_y &= a_{21}\sigma_x + a_{22}\sigma_y + a_{23}\sigma_z; \\ \varepsilon_z &= a_{31}\sigma_x + a_{32}\sigma_y + a_{33}\sigma_z; \\ \gamma_{yz} &= a_{44}\tau_{xy}; \gamma_{zx} = a_{55}\tau_{zx}; \gamma = a_{66}\tau_{xy}. \end{aligned} \right\} \quad (1.41)$$

$$\left. \begin{aligned} a_{11} &= 1/E_1; a_{22} = 1/E_1; a_{33} = 1/E_1; \\ a_{12} &= a_{21} = -\nu_{21}/E_2 = -\nu_{12}/E_1; \\ a_{23} &= a_{32} = -\nu_{32}/E_3 = -\nu_{23}/E_2; \\ a_{44} &= 1/G_{23}; a_{55} = 1/G_{13}; a_{66} = 1/G_{11}. \end{aligned} \right\} \quad (1.42)$$

gdzie:

E_1, E_2, E_3 – moduły sprężystości w kierunku osi współrzędnych odpowiednio x, y, z ;

$\nu_{12}, \nu_{21}, \nu_{13}, \nu_{31}, \nu_{23}, \nu_{32}$ – współczynniki Poissona.

Na przykład współczynnik ν_{12} charakteryzuje wartość poprzecznej deformacji w kierunku osi y od naprężeń σ_y , a ν_{21} – wielkość deformacji w kierunku osi x od naprężeń σ_y .

Ze względu na symetryczność $\alpha_{ij} = \alpha_{ji}$. Współczynniki Poissona i moduły sprężystości E_i, E_j są powiązane przez równości:

$$\nu_{ij}E_j = \nu_{ji}E_i \quad (1.43)$$

We wzorze 1.32, G_{12}, G_{13} oznaczają moduł przesunięcia w odpowiednich płaszczyznach. W przypadku ciała izotropowego liczba stałych sprężystości zmniejsza się do modułu sprężystości E (modułu Younga), moduł przesunięcia G i współczynnika Poissona ν . Wymienione właściwości ciała związane są z zależnością:

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \quad (1.44)$$

Dla ciała izotropowego uogólniony wzór Hooke'a ma następującą postać

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_x &= \frac{1}{E} [\sigma_x - \nu(\sigma_y + \sigma_z)]; \quad \varepsilon_y = \frac{1}{E} [\sigma_y - \nu(\sigma_x + \sigma_z)]; \\ \varepsilon_z &= \frac{1}{E} [\sigma_z - \nu(\sigma_x + \sigma_y)]; \\ \gamma_{xy} &= \frac{2(1+\nu)}{E} \tau_{xy}; \quad \gamma_{yz} = \frac{2(1+\nu)}{E} \tau_{yz}; \\ \gamma_{xz} &= \frac{2(1+\nu)}{E} \tau_{xz}. \end{aligned} \right\} \quad (1.45)$$

Właśnie w takiej postaci najczęściej wykorzystuje się prawo Hooke'a do opisu sprężystych gleb.

Wprowadzając deformację objętościową Δ jako stosunek zmian nieskończenie małej objętości ciała ΔdV , spowodowanego deformacją w stosunku do wyjściowej objętości dV , tj. $\Delta = \Delta dV/dV$. Przy rezygnacji z nieskończenie małych wartości na rzecz wyższego rzędu, otrzymuje się:

$$\Delta = \varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z$$

jest to równanie wariantu tensora deformacji. Sumując pierwsze trzy równania systemu 1.45:

$$\Delta = \frac{1-2\nu}{E} (\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z) \quad (1.46)$$

Jeśli równania 1.45 rozwiązać dla normalnych naprężeń σ_x , σ_y , σ_z , wtedy otrzyma się inną formę zapisu uogólnionego prawa Hooke'a. Uwzględniając naprężenie 1.43 można zapisać:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x &= 2G\varepsilon_x + \lambda\Delta & \tau_{xy} &= G\lambda_{xy} \\ \sigma_y &= 2G\varepsilon_y + \lambda\Delta & \tau_{yz} &= G\lambda_{yz} \\ \sigma_z &= 2G\varepsilon_z + \lambda\Delta & \tau_{zx} &= G\lambda_{zx} \end{aligned} \right\} \quad (1.47)$$

gdzie:

$$\lambda = \frac{2\nu G}{1-2\nu} \quad (1.48)$$

Współczynniki G i λ są zwykle nazywane parametrami Lamé'a, a równanie 1.47 uogólnione prawo Hooke'a w postaci Lamé'a.

W pojedynczym przypadku prawo Hooke'a posiada prostą postać:

$$\sigma = E\varepsilon \quad (1.49)$$

gdzie:

σ – normalne naprężenie,
 ε – normalna względna deformacja.

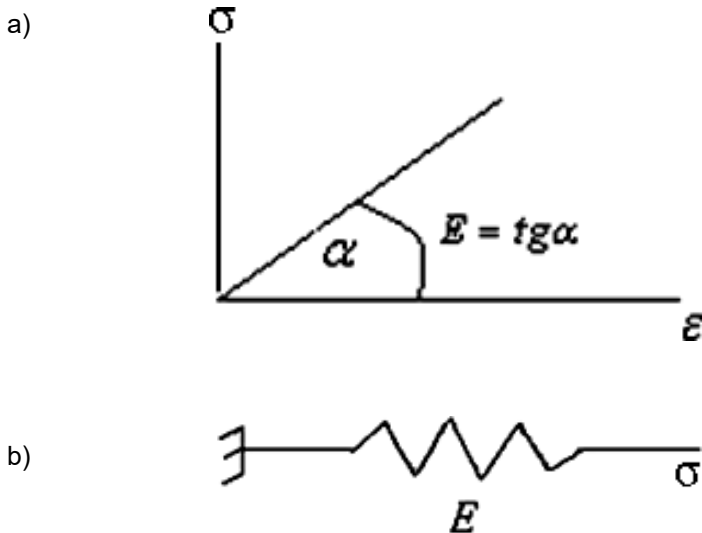
Przy poprawnym przemieszczaniu:

$$(\sigma = 0) \tau = G\gamma \quad (1.50)$$

gdzie:

τ – naprężenie styczne,
 γ – deformacja przemieszczenia.

Ciało Hooke'a w modelu matematyczno-mechanicznym można zilustrować przy pomocy elementu mechanicznego sprężyny (rys. 1.4b).



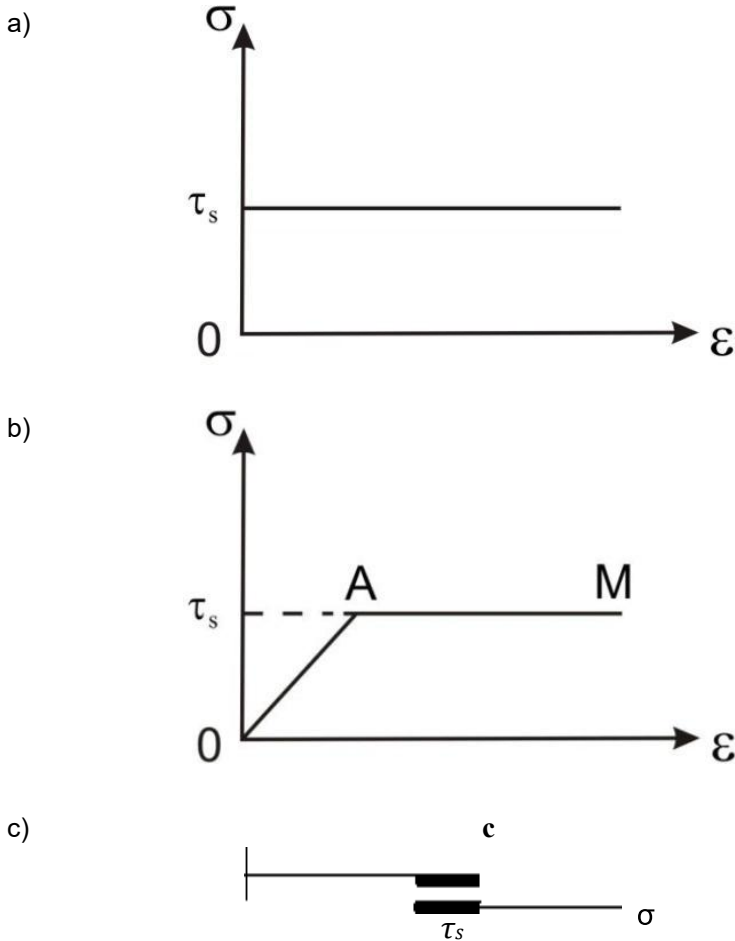
Rys. 1.4. Graficzna interpretacja prawa Hooke'a:

- a) wykres zależności naprężenia σ od względnej deformacji ε w ciele sprężystym; b) element mechaniczny ciała sprężystego

1.3. Ciało plastyczne

Utworzenie kolein związane jest z właściwościami plastycznymi gleby. Plastycznością nazywa się właściwość ciała, zdolne zmieniać się nieodwracalnie, nie zmieniać swojego kształtu pod wpływem sił zewnętrznych. Doświadczenia pokazują, że plastyczność jest ogólną właściwością ciał stałych, podlegających deformacji. Stan plastyczny ciała stałego zwykle występuje wtedy, kiedy maksymalne naprężenie styczne osiąga pewną określoną wartość. τ_s o nazywane przedziałem oddziaływania na przesunięcie. Przyjmuje się, że materiał w stanie plastycznym nie podlega ścisnaniu.

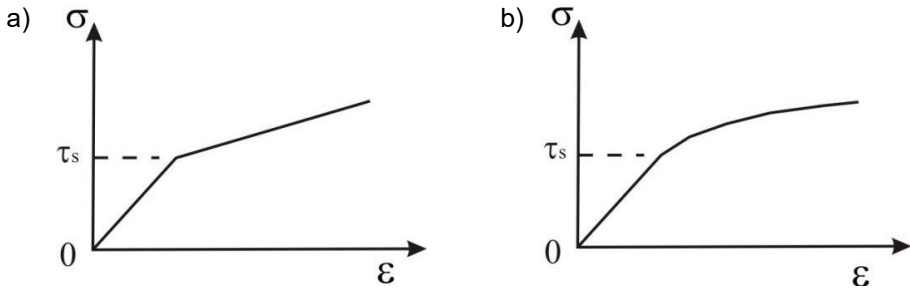
W przypadku idealnie plastycznego materiału (ciało Saint-Viennana) deformacje sprężyste są równe zero, a przy $\sigma = \tau_s$ w materiale następują nieograniczone plastyczne deformacje. Na rysunku 1.5 przytacza się wykres idealnie plastycznego środowiska.



Rys. 1.5. Wykres ściskania i rozciągania: a) idealnie plastyczne środowisko; b) sprężysto-plastyczne środowisko bez utwardzenia; c) mechaniczne elementy plastyczności

Na rysunku 1.5 przedstawiono zależność między naprężeniem i deformacją w przypadku środowiska sprężysto-plastycznego. Przy naprężeniu poniżej granicy płynności $\sigma < \tau_s$ ciało deformuje się sprężysto zgodnie z prawem Hooke'a (odcinek OA), a przy $\sigma = \tau_s$ ciało deformuje się plastycznie (odcinek AM). Środowisko, podlegające temu prawu deformacji, nazywa się sprężysto-plastycznym ciałem Prandtl'a. Element mechaniczny deformacji plastycznej przedstawiono na rysunku 1.5c.

Na rysunku 1.6 przedstawiono zależności $\sigma - \varepsilon$ dla materiałów z liniowym (rys. 1.6a) i nieliniowym (rys. 1.6b) umocnieniami.



Rys. 1.6. Wykresy modeli sprężysto-plastycznych:
a) z liniowym umocnieniem; b) z nieliniowym umocnieniem

Przy $\sigma < \tau_s$ ma miejsce deformacja sprężysta, a przy $\sigma > \tau_s$ – deformacja plastyczna. Przy jednokierunkowym rozciąganiu (zgniataniu) granica między stanem sprężystym i plastycznym określa się naprężeniem $\sigma = \tau_s$ i deformacją ε_s . W teorii plastyczności dużą rolę odgrywa dewiator sprężania i deformacji. Tensor naprężenia T_n w postaci sumy dwóch tensorów jest następujący:

$$T_n = T_\sigma + S_\sigma \quad (1.51)$$

gdzie:

$$T_\sigma = \begin{bmatrix} \sigma_0 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_0 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_0 \end{bmatrix} \quad (1.52)$$

nazywa się tensorem kuli, a tensor:

$$S_\sigma = \begin{bmatrix} (\sigma_x - \sigma_0) & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & (\sigma_y - \sigma_0) & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & (\sigma_z - \sigma_0) \end{bmatrix} \quad (1.53)$$

dewiatorem naprężeń.

Naprężenie σ_0 uwarunkowane jest wszechstronnym rozciąganiem (sprężaniem) i wylicza się według wzoru

$$\sigma_0 = \frac{1}{3}(\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z) \quad (1.54)$$

To naprężenie zmienia tylko objętość, jednak bez zmiany kształtu próbki gleby.

Stan sprężenia scharakteryzowane przez dewiator naprężeń S_σ przeciwnie, nie zmienia wartości objętości, przy zmianie kształtu wydzielonego z ziemi elementu.

Na drodze doświadczeń ustalono, że ciało może podlegać bardzo wielu różnostronnym sprężeniom i równocześnie pozostawać w sprężystym stanie. Z tego wynika, że przejście ze stanu sprężystego w stan plastyczny odpowiedzialny jest dewiator naprężeń. Warianty tensora części dewiatora (1.52) – (1.53) na głównych osiach można przedstawić jako:

$$I_1(S) = (\sigma_1 - \sigma_0) + (\sigma_2 - \sigma_0) + (\sigma_3 - \sigma_0) \quad (1.55)$$

$$I_2(S) = \frac{1}{6}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2] \quad (1.56)$$

$$I_3(S) = (\sigma_1 - \sigma_0) + (\sigma_2 - \sigma_0) + (\sigma_3 - \sigma_0) \quad (1.57)$$

gdzie:

$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ – główne naprężenia.

W badaniach nad deformacją plastyczną często stosuje się intensywność normalnych i stycznych naprężeń. Jako intensywność normalnych naprężeń nazywa się wartość proporcjonalną drugiego wariantu wskaźnika naprężeń.

$$\begin{aligned} \sigma_i &= \sqrt{3I_2(S)} = \frac{1}{\sqrt{2}}\sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2} = \\ &= \frac{1}{\sqrt{2}}\sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)} \quad (1.58) \end{aligned}$$

Natomiast intensywnością naprężeń stycznych nazywa się wartość równą pierwiastkowi kwadratowemu wariantu dewiatora naprężeń

$$\tau_i = \sqrt{I_2(S)} \quad (1.59)$$

lub

$$\begin{aligned} \sigma_i &= \frac{1}{\sqrt{6}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2} = \\ &= \frac{1}{\sqrt{6}} \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)} \end{aligned} \quad (1.60)$$

Zależność między intensywnością naprężeń normalnych σ_i a intensywnością naprężeń stycznych τ_i wyraża równanie:

$$\sigma_i = \sqrt{3}\tau_i \quad (1.61)$$

Przedstawienie warunków plastyczności opiera się na porównaniu naprężeń stycznych z naprężeniami krańcowymi σ_T . Warunki plastyczności Tresca-Saint-Venanta określa przejście od stanu sprężystości w plastyczny w określonym punkcie, w tym momencie, kiedy naprężenie styczne maksymalne w danym punkcie osiąga względnie stałą wartość, charakterystyczną dla danego materiału.

$$\tau_{max} = \frac{\sigma_T}{2} \quad \text{lub} \quad \sigma_1 - \sigma_3 = \sigma_T \quad (1.62)$$

To kryterium plastyczności odpowiada teorii wytrzymałości największych naprężeń stycznych.

$$\sigma_i = \sigma_T \quad (1.63)$$

lub

$$\sigma_T = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2} \quad (1.64)$$

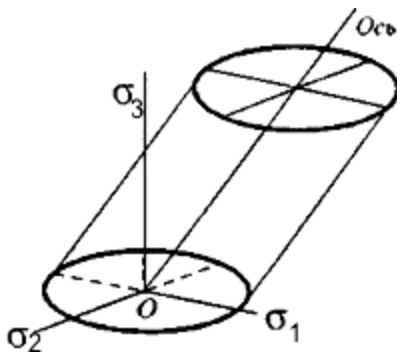
Kryterium plastyczności Hubera-Misesa odpowiada warunkom teorii wytrzymałości.

Należy zaznaczyć, że wyniki uzyskane według tych dwóch kryteriów plastyczności są bardzo podobne. Jednak dla naprężenia płaskiego wyniki doświadczeń są bardziej zgodne z kryterium plastyczności Hubera-Misesa. Na przejście ze stanu sprężystości do plastycznego nie ma wpływu wielkość wszechstronnego ciśnienia (średnie naprężenie σ_0). Przejście w stan plastyczności zależy od dewiatora naprężeń, a ponieważ proces ten nie może zależeć od wyboru osi współrzędnych, dlatego warunki plastyczności są funkcją wewnętrznego dewiatora naprężeń.

W przypadku kryterium plastyczności Hubera-Misesa, równanie 1.56 $f[I_2(S)] = 0$ lub

$$(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 = 2\sigma_T^2 \quad (1.65)$$

Otrzymane równanie na osiach $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ jest równaniem cylindra, którego oś równa jest nachyleniu do osi $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$

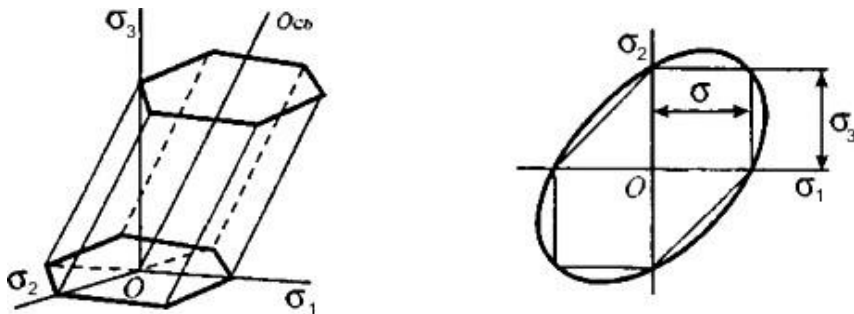


Rys. 1.7. Powierzchnia plastyczności Hubera-Misesa

Jeśli cylinder przeciąć płaszczyzną $\sigma_3 = 0$, to z równania 1.65 otrzymuje się w przekroju elipsę, dla której równanie będzie miało postać $\sigma_1 - \sigma_1\sigma_2 + \sigma_2^2 = \sigma_T^2$.

W ten sposób kryterium plastyczności Hubera-Misesa odpowiada powierzchni płynnej w postaci okrągłego cylindra, którego promień w płaszczyźnie prostopadłej do osi wynosić będzie $\sigma_T/\sqrt{2}$.

W przypadku kryterium Tresca-Saint-Venanta, $\sigma_1 - \sigma_3 = \sigma_T$ i spełnienia warunków $\sigma_1 - \sigma_3 = \pm\sigma_T$, $\sigma_2 - \sigma_3 = \pm\sigma_T$, $\sigma_1 - \sigma_2 = \pm\sigma_T$ powierzchnia płynności w osiach σ_1 , σ_2 , σ_3 jest przedstawia sobą sześciokątną pryzmę z osią z nachyleniem do osi σ_1 , σ_2 , σ_3 (rys. 1.8a). Pryzmę tę nazwano pryzmą Kulona. Osie cylindra Hubera-Misesa i pryzmy Kulona są takie same, a równanie tej osi to $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$. Pryzma Kulona okazała się wpisaną w cylinder Hubera-Misesa (ryc. 1.8b).



Rys. 1.8. Powierzchnia płynności Tresca-Saint-Venanta

Aby wykorzystać warunki plastyczności Tresca-Saint-Venanta, należy wcześniej znać, jakie z głównych naprężeń są maksymalnymi, a które minimalnymi. Na przykład w przypadku koła wiodącego (rys. 1.3) główne naprężenie znane jest ze wzoru 1.65, kiedy to naprężenie graniczne będzie równe 150 kPa. W przypadku zastosowania warunków plastyczności Misesa, nie ma potrzeby określania głównych naprężeń. Wykorzystując wzór 1.58 oraz warunki $\sigma_1 = \sigma_T$ można zapisać równanie w postaci:

$$(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2) = 2\sigma_T^2 \quad (1.66)$$

Dlatego przy rozwiązywaniu zadań praktycznych warunki plastyczności Hubera-Misesa są wygodniejsze w porównaniu do warunków Tresca-Saint-Venanta.

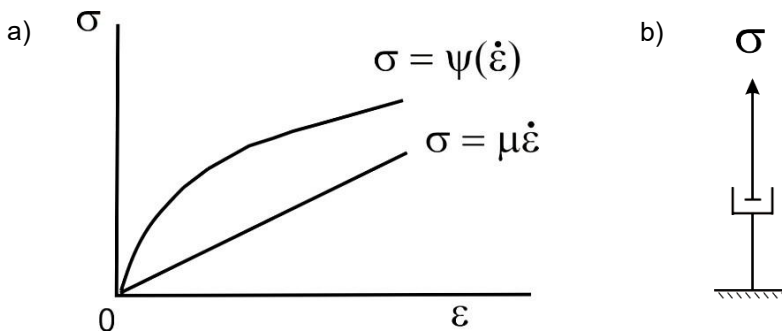
1.4. Lepkość i zdolność pełzania

Lepkość gleby jest analogiczna jak właściwość lepkości cieczy. Lepka ciecz charakteryzuje się prostą proporcjonalnością między naprężeniem a szybkością deformacji, które określa prawo Newtona. W pojedynczym przypadku będzie to:

$$\sigma = \mu \cdot \dot{\varepsilon} \quad (1.67)$$

gdzie: $\dot{\varepsilon} = d\varepsilon/dt$, t – czas, μ – współczynnik lepkości (Pa·s), w którym dt często nazywany jest dynamicznym współczynnikiem lepkości. Występuje także lepkość kinematyczna $\nu = \mu/\rho$ (m²/c), gdzie ρ to gęstość cieczy lub gazu.

W równaniu 1.61 naprężenie zależy nie od siły deformacji, a od jej szybkości. Model cieczy niutonowskiej przedstawia sobą tłok z otworami, który porusza się w cylindrze z cieczą, posiadającą stałą wartość lepkości (wewnątrzcząsteczkowe tarcie). Przy ruchu tłoka, ciecz przecieka przez otwory i powoduje opór, który wzrasta proporcjonalnie do prędkości ruchu. Prawo zależności naprężeń od deformacji w lepkim ciele może mieć przebieg zarówno liniowy jak i nieliniowy (rys. 1.9a).



Rys. 1.9. Zależność naprężeń od deformacji w ciele lepkiem:
a) wykres deformacji ciał lepkich; b) element mechaniczny lepkości

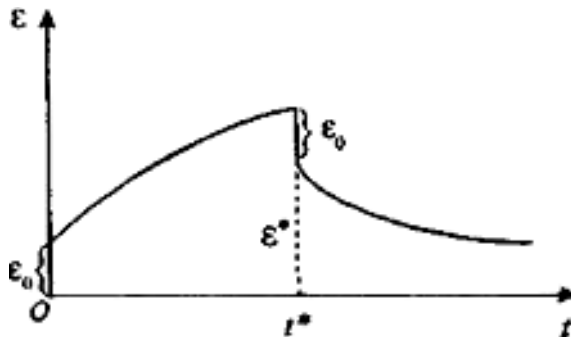
Lepki mechaniczny element Newtona $\left(\sigma = \mu \left(\frac{d\varepsilon}{dt}\right)\right)$ można przedstawić jako tłok poruszający się w cylindrze z lepką cieczą (rys. 1.9b).

W teorii plastyczności, tak jak w teorii sprężystości, przy określonym naprężeniu i deformacji czynnik czasu nie jest uwzględniany. Dlatego stan ciała sprężystości i deformacji, znajdującego pod wpływem stałego zewnętrznego obciążenia, nie zmienia się z czasem. Jednakże wszystkie realne ciała posiadają właściwość długotrwałej deformacji (pełzającej). To oznacza, że związek między naprężeniem i deformacją zależy od szybkości przyłożenia i czasu oddziaływania obciążenia. Działanie pełzające jest jednym z podstawowych właściwości realnych ciał. Przy działaniu pełzającym następuje deformacja objętości jak i kształtu ciała. Należy zauważyć, że o ile formy deformacji dla wszystkich materiałów występują wyraźnie, to deformacja objętości pod wpływem nacisku u jednych materiałów są bardzo wyraźne (grunty, gleba i inne materiały porowate), a u innych materiałów są bardzo małe (metale). Jeśli teoria plastyczności określa związek funkcjonalny między naprężeniami i deformacjami, to teoria pełzania określa ten związek jako zróżnicowany lub uwarunkowany od czasu.

Pełzanie oznacza zmiany w czasie tak naprężeń jak i deformacji. Zmiany deformacji w czasie nazywa się następstwem działania, a zmiany naprężeń relaksacją.

Dla przykładu, jeżeli próbka gleby jest obciążona przez krótki okres czasu do naprężenia σ_0 , podlega deformacji $\varepsilon_0 + \varepsilon^*$, która może być sprężystą, lecz może być tak zarówno sprężystą jak plastyczną formą. Jeśli działanie obciążające jest stałe, to deformacja próbki będzie zwiększać się w czasie. Na końcu badania dodatkowa deformacja będzie równa ε^* , a całkowita deformacja próbki $\varepsilon_0 + \varepsilon^*$.

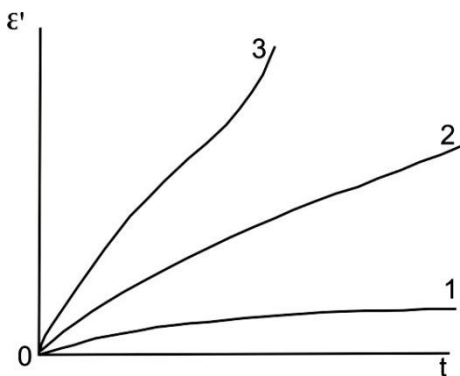
Po szybkim ustąpieniu obciążenia, sprężysta deformacja znika, a deformacja następcza pozostaje. Jeśli ε_0 – deformacja sprężynująca, to przy ustąpieniu odciążania ostateczna deformacja próbki dąży do zera (rys. 1.10).



Rys. 1.10. Przebieg deformacji w czasie w ciele z właściwościami sprężynującymi, lepkiemi i plastycznymi

Jeśli deformacja początkowa σ_0 była sprężysto-plastyczna, to po ustąpieniu obciążenia znika tylko jej część sprężynująca. Końcowa deformacja próbki jest równa ε^* .

Właściwość pełzające gleb charakteryzuje się rodziną krzywych pełzania (rys. 1.11). Dla danego fizyczno-mechanicznego stanu gleby uzyskuje się poprzez badanie serii równoległych prób, przy działaniu różnych pod względem wielkości stałych naprężeń. Krzywa 1 – odpowiada małym obciążeniom, 2 – średnim, 3 – dużym, pod wpływem których próbka gleby ulega zburzeniu.



Rys. 1.11. Krzywe pełzające dla różnych pod względem siły stałych naprężeń

Relaksacja naprężeń w próbce gleby spowodowana jest rozdzieleniem w czasie deformacji sprężystych ε^e i pełzających ε' . W przypadku pełnej deformacji stosuje się wzór:

$$\varepsilon = \varepsilon^e + \varepsilon' \quad (1.68)$$

wtedy to równanie z uwzględnieniem prawa Hooke'a, można przedstawić w postaci:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} + \varepsilon' = \text{const.} \quad (1.69)$$

Ponieważ w trakcie procesu pełzania, ε' wzrasta, to σ powinno się zmniejszać ($E = \text{const.}$).

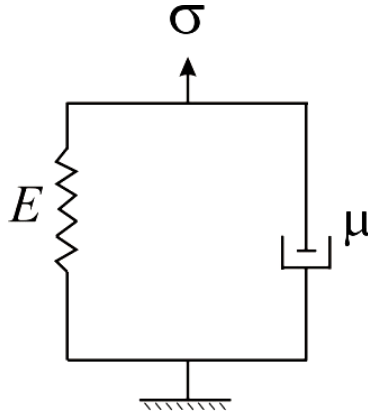
1.5. Ciało Kelvina-Voichta

Sprężystość jest cechą charakterystyczną ciał twardych, a lepkość ciał ciekłych. Ciała, posiadające obie te cechy nazywane są sprężysto-lepkimi. Jeśli u ciała z przebiegiem czasu wracają nie tylko zdolność do powrotu do wyjściowej formy – sprężystości, lecz także pozostają w zmienionej formie – plastyczności nazywane są sprężysto-lepko-plastycznym.

Równanie stanu reologicznego środowisk zwykle przedstawia się przy pomocy prostych mechanicznych modeli. Łącząc te proste modele, można badać różne złożone środowiska.

W modelu przedstawionym na rysunku 1.12 sprężyna i tłok są powiązane równolegle. Zależność między naprężeniem i deformacją przyjmie postać

$$\sigma = E \varepsilon + \mu \dot{\varepsilon} \quad (1.70)$$



Rys. 1.11. Model mechaniczny Kelvina-Voichta

Równanie to można otrzymać, jeśli uwzględnić, że pełne naprężenie w środowisku będzie składać się z naprężenia odpowiadającego sprężystej deformacji i naprężenia spowodowanego oporem lepkości. Sprężysto-lepkie środowisko w stanie spokoju ($\varepsilon = 0$) zachowuje się jak sprężyste. Naprężenie w glebie wzrasta wraz ze wzrostem szybkości deformacji. Jeśli występuje stan stabilnej deformacji to w materiale będzie stałe naprężenie $\sigma = E\varepsilon$. natomiast jeśli ciało podlega stałemu naprężeniu wtedy $\sigma = \text{const}$, to przy $t = 0$, $\varepsilon_0 = 0$

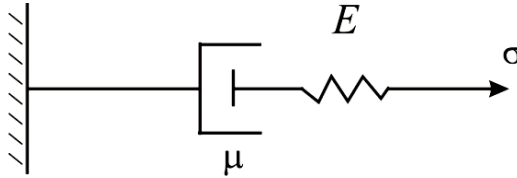
$$\varepsilon = \frac{\sigma_0}{E} \left(1 - e^{-\frac{E}{\mu}t} \right) \quad (1.71)$$

jest to deformacja przy $t \rightarrow \infty$ stopniowo wzrasta, dążąc do stałej wielkości i σ_0/E .

Przykładem ciała Kelvina-Voigta jest sprężyste porowate środowisko, którego pory wypełnione są lepkiem płynem. Model ten odpowiada założeniom, z podstawami teorii konsolidacji filtracyjnej gleb gliniastych Tertsagi-Gersevanova.

1.6. Ciało Makswella

W modelu tym sprężyna i tłok powiązane są kolejno (rys. 1.13).



Rys. 1.13. Mechaniczny model Makswella

W danym przypadku szybkości deformacji sumują się i odpowiadają temu samemu naprężeniu. Prawo deformowania przyjmuje postać:

$$\dot{\varepsilon} = \frac{1}{E} \dot{\sigma} + \frac{\sigma}{\mu} \quad (1.72)$$

Jeśli naprężenie $\sigma = \text{const}$, wtedy gleba podlega deformacji ze stałą prędkością. W przypadku stwierdzenia deformacji $\varepsilon = \text{const}$. wtedy równania przyjmują postać:

$$\frac{1}{E} \sigma + \frac{\sigma}{\mu} = 0 \quad (1.73)$$

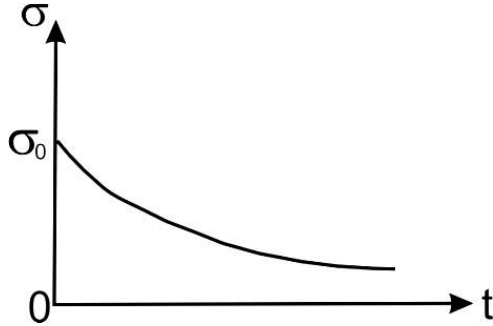
$$\sigma = \sigma_0 e^{-t/T_p} \quad (1.74)$$

gdzie:

σ_0 – naprężenie początkowe;

T_p – czas relaksacji ($T_p = \frac{\mu}{E}$).

Z zależności według wzoru 1.74 wynika, że naprężenie zmniejsza się z czasem zgodnie z prawem, zdążając do zera (rys. 1.14).

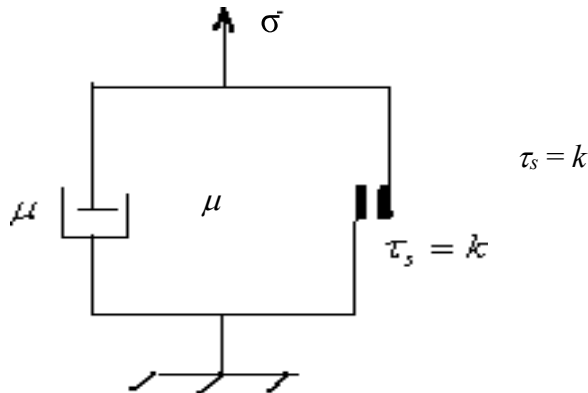


Rys. 1.14. Grafika relaksacji naprężeń

Przedstawiony model można przedstawić jako proces zmniejszenia gęstości gleb, to jest ich stan, kiedy połączenia pomiędzy cząsteczkami gleby ulegają osłabieniu, a pory ulegają powiększeniu.

1.7. Właściwości lepkości – plastyczności ciała

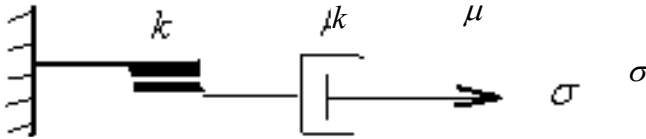
Właściwości lepkości i plastyczności ciał można modelować poprzez przedstawienie schematu elementów lepkości i plastyczności. Przy połączeniu równoległym dwóch elementów – lepkiego i plastycznego (rys. 1.15), prawo deformacji będzie miało postać $\sigma = k + \mu \dot{\epsilon}$ przy $\sigma \geq k$, gdzie k oznacza granicę płynności.



Rys. 1.15. Model mechaniczny lepkości-plastyczności ciała Binghama

Jeśli $\sigma < k$, to wtedy ciało nie podlega deformacji. Rozpatrywane środowisko nazywa się ciałem Binghama.

Przy kolejnym połączeniu lepkiego i plastycznego środowiska zachowują się do siebie jak ciało pełzająco-plastyczne. (rys. 1.16).

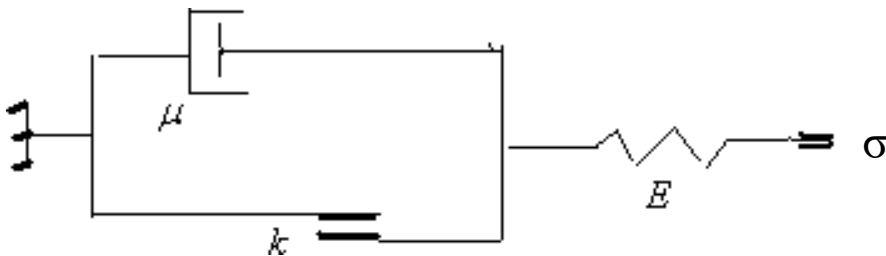


Rys. 1.16. Model mechaniczny ciała lepko-plastycznego przy kolejnym nacisku

Jeśli $\sigma > k$, to środowisko zachowuje się jak ciecz, zgodnie z prawem Newtona $\sigma = \mu d\varepsilon/dt$. Jeśli $\sigma = k$, to środowisko zachowuje się jako ciało idealnie plastyczne.

1.8. Ciało sprężysto lepko-plastyczne

Rozpatrzony zostanie model mechaniczny przedstawiony na rysunku 1.17.



Rys. 1.17. Model środowiska sprężysto-lepko-plastycznego

Równanie stanu środowiska przyjmie postać:

$$\left. \begin{aligned} \sigma &= E\varepsilon^e & (\sigma < k) \\ \sigma &= k + \mu\dot{\varepsilon}^p & (\sigma > k) \end{aligned} \right\} \quad (1.75)$$

gdzie:

ε^e – deformacja sprężynująca;

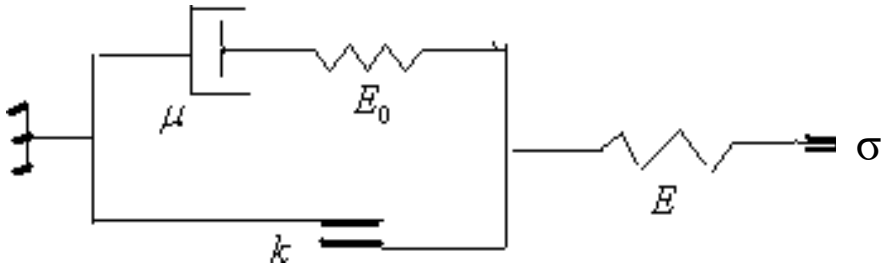
$\dot{\varepsilon}^p$ – szybkość deformacji plastycznej.

Pełna deformacja:

$$\varepsilon = \varepsilon^e + \varepsilon^p \quad (1.76)$$

Jeżeli $\sigma < k$, to ciało ulega deformacji sprężystej, przy $\sigma > k$ ciało ulega deformacji plastycznej w przypadku stałej lepkości plastycznej.

Na rysunku 1.18 przedstawiono model reologiczny ciała Shvedova.



Rys. 1.18. Model reologiczny ciała Shvedova

Stan modelu wyrażony zostanie wzorem:

$$\dot{\varepsilon} = \frac{\sigma - k}{\mu} + \frac{\dot{\sigma}}{E} \quad (1.77)$$

gdzie:

$\frac{\sigma - k}{\mu}$ – szybkość przebiegu ciała lepkiego;

$\frac{\dot{\sigma}}{E}$ – szybkość deformacji sprężynującej.

Dla $\sigma = \text{const}$, równanie 1.77 przechodzi do 1.75. Ponieważ 1.75 jest przypadkiem równania 1.77, wtedy ciało Bingham'a często nazywane jest ciałem Bingham'a-Shvedova, kiedy prawo relaksacji ma postać:

$$\sigma = k + (\sigma_0 - k)e^{-t/T_p} \quad (1.78)$$

gdzie:

σ_0 – naprężenie początkowe.

Jeśli $k = 0$, to wzór 1.77 przekształca się w 1.72, a 1.78 w 1.74, tj. ciało Shvedova przechodzi w ciało Makswella.

1.9. Określenie właściwości reologicznych gleb

Przedstawione zostaną niektóre sposoby podejścia do określania właściwości gleb. Najpierw rozpatrzone zostaną właściwości sprężysto-lepko-plastyczne środowiska (rys. 1.17), właściwości które w warunkach realnych są wartościami przypadkowymi. Aby uzyskać charakterystykę statystyczną (oczekiwanie matematyczne, rozrzut) trzeba znać funkcję rozkładu gęstości prawdopodobieństwa wskaźników gleby, które zwykle określa się na podstawie danych doświadczalnych lub na podstawie wnioskowania teoretycznego. W tym modelu właściwości lepkie i plastyczne określone zostaną według prawa rozkładu. Założono, że na podstawie doświadczalnego określenia modułu sprężystości gleby E_0 przed przejazdem kół ciągnika mieści się w przedziale 29-37 kPa, a histogram wykreślony dla wartości E_0 uzyskano trójkątny rozkład prawa, który ma postać:

$$F(E_0) = \begin{cases} 0 & E_0 < 29 \\ \frac{2(E_0-29)^2}{64} & 29 < E_0 \leq 33 \\ \frac{2(37-E_0)^2}{64} & 33 < E_0 < 37 \\ 0 & E_0 \geq 37 \end{cases} \quad (1.79)$$

Rozkład gęstości jest równy:

$$f(E_0) = \begin{cases} 0 \\ \frac{(E_0-29)}{16} \\ \frac{(37-E_0)}{16} \\ 0 \end{cases} \begin{cases} E_0 < 29 \\ 29 < E_0 \leq 33 \\ 33 < E_0 < 37 \\ E_0 \geq 37 \end{cases} \quad (1.80)$$

Dla tego prawa matematyczny rozkład oczekiwany i rozrzut modelu sprężystości jest następujący:

$$\langle E_0 \rangle = 33 \text{ kPa}; D_{E_0} = 2,66 \text{ kPa} \quad (1.81)$$

Końcowe nawiasy oznaczają matematyczne oczekiwanie. Model sprężystości $\langle E \rangle$ zależy od koncentracji cząstek twardych $\langle \alpha \rangle$, która zmienia się pod wpływem działania mechanicznego na glebę. W postaci zróżnicowanej zmiana modułu sprężystości w zależności od koncentracji cząstek twardych gleby przyjmie postać:

$$d \langle E \rangle = A \langle E_0 \rangle d \langle \alpha \rangle, \quad (1.82)$$

i stąd:

$$\langle E \rangle = \langle E_0 \rangle [1 + A(\langle \alpha \rangle - \langle \alpha_0 \rangle)], \quad (1.83)$$

gdzie $\langle \alpha_0 \rangle$ koncentracja cząstek, odpowiadająca stanowi gleby z modułem sprężystości, równym $\langle E_0 \rangle$, A – współczynnik proporcjonalności, który zależy od twardości gleby. Dla gleby twardej $A < 1$.

Równanie 1.83 może być wykorzystane przy badaniu zagęszczenia gleby tylko wtedy, kiedy $\langle \alpha \rangle$ jest większe niż $\langle \alpha_0 \rangle$. Można wnioskować, że szybkość zmiany koncentracji cząstek twardych proporcjonalna jest do obciążenia P :

$$\frac{d\langle \alpha \rangle}{dt} = BP\langle \alpha \rangle \quad (1.84)$$

gdzie:

B – parametr rozmiaru,

t – czas oddziaływania obciążenia.

Ze wzoru 1.84 otrzymuje się wzór:

$$\langle \alpha \rangle = \langle \alpha_0 \rangle e^{\int_0^1 P B dt} \quad (1.85)$$

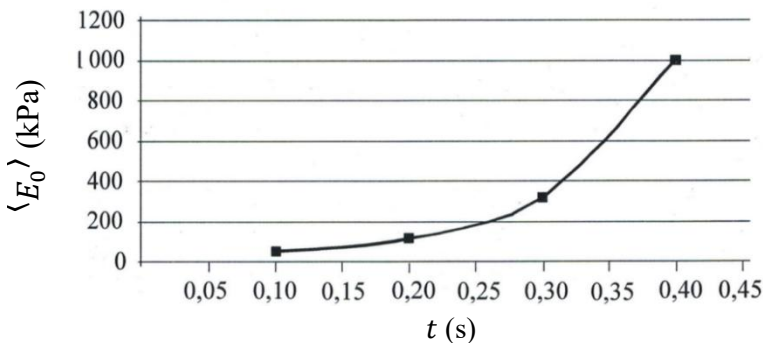
Wtedy zmiana średniego modułu sprężystości przyjmie postać:

$$\langle E \rangle = \langle E_0 \rangle \left[1 + A \langle \alpha_0 \rangle \left(e^{\int_0^1 P B dt} - 1 \right) \right] \quad (1.86)$$

W przypadku stałych wartości P i B otrzymuje się:

$$\langle E \rangle = \langle E_0 \rangle [1 + A \langle \alpha_0 \rangle (e^{PBt} - 1)] \quad (1.87)$$

W ten sposób moduł sprężystości przy zagęszczeniu gleby będzie zależeć od modułu sprężystości $\langle E_0 \rangle$ a koncentracja twardych cząstek gleby $\langle \alpha_0 \rangle$ przed ugnieceniem, wartości mechanicznego obciążenia gleby P i czasu oddziaływania obciążenia. Stałe A , B należy określić na podstawie właściwości fizycznych. Zamiast koncentracji cząstek twardych można rozpatrywać porowatość gleby. Na rysunku 1.19 przedstawiono wykres zmian średniego modułu sprężystości gleby w zależności od czasu oddziaływania obciążenia zewnętrznego P spowodowanego przez maszyny rolnicze.



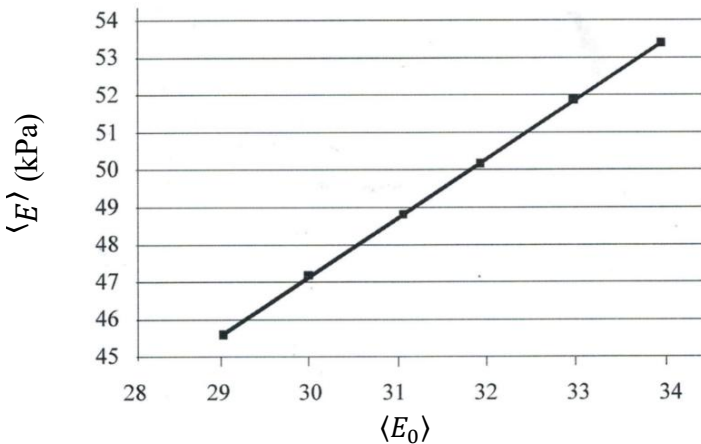
Rys. 1.19. Zmiany modułu sprężystości gleby w zależności od czasu oddziaływania obciążenia

We wzorze 1.87 przyjęto następujące wartości:

$$\langle E_0 \rangle = 33 \text{ (kPa)}, A = 0,5, P = 8 \text{ (kN)}, B = 1,5 \left(\frac{1}{\text{kN}\cdot\text{s}} \right), a_0 = 0,5$$

Na rysunku 1.20 przedstawiono wartości średniego modułu sprężystości pod wpływem stałego oddziaływania siły P w zależności od początkowych właściwości sprężystych gleby. Wykres otrzymano przy następujących wartościach równania 1.87:

$$t = 0,1 \text{ (s)}, A = 0,5, P = 8 \text{ (kN)}, B = 1,5 \left(\frac{1}{\text{kN}\cdot\text{s}} \right), a_0 = 0,5$$

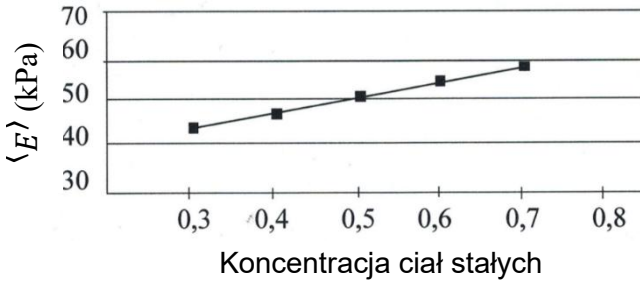


Rys. 1.20. Zmiana modułu sprężystości pod wpływem oddziaływania stałej siły $P = 8 \text{ kN}$ w zależności od wyjściowych (przed zastosowaniem obciążenia) sprężystych właściwości gleby

Na rysunku 1.21 przedstawiono wpływ koncentracji cząstek twardych gleby na jej wartości modułu sprężystości przy:

$$\langle E \rangle = 33 \text{ (kPa)}, A = 0,5, P = 8 \text{ (kN)}, B = 1,5 \left(\frac{1}{\text{kN}\cdot\text{s}} \right), t = 0,1 \text{ (s)}.$$

Uwzględniono, że objętość gleby przy deformacji zmniejsza się, w wyniku czego zwiększa się koncentracja cząstek twardych, które stanowią twarde cząsteczki w stosunku do rozpatrywanej objętości gleby.



Rys. 1.21. Wartości modułu sprężystości w zależności od koncentracji cząstek twardych w rozpatrywanej objętości

Ostateczna deformacja zgodnie z modelem na rys. 1.17 zależy od dwóch wartości: plastyczności i lepkości. Dlatego deformację końcową można traktować jako wartość dwustronną, którą geometrycznie interpretuje się jako punkt ze współrzędnymi (η, k) na płaszczyźnie η - k . Należy zwrócić uwagę, że właściwość lepkości uwidacznia się po osiągnięciu naprężeniem granicy plastyczności $k = \sigma$. Dla określenia charakterystyk statystycznych współczynnika plastyczności k i lepkości η , dla uproszczenia przyjęto, że gęstość rozłożona będzie równomiernie i będzie odpowiadać temu samemu prawu harmonijności.

$$f(\eta, k) = \begin{cases} a \sin(\eta + k) & \text{gdy } 0 \leq \eta \leq \frac{\pi}{2}; 0 \leq k \leq \frac{\pi}{2} \\ 0 & \text{dla dowolnych wartości } \eta, u, k \end{cases} \quad (1.88)$$

gdzie:

σ – nieznaną stałą wielkość.

Na podstawie właściwości gęstości można przedstawić prawdopodobieństwo:

$$\int_0^{\frac{\pi}{2}} \int_0^{\frac{\pi}{2}} a \sin(\eta + k) d\eta dk = 1 \quad (1.89)$$

stąd:

$$a = \left(\int_0^{\frac{\pi}{2}} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin(\eta + k) d\eta dk \right)^{-1} = \left(\int_0^{\pi/2} [-\cos(\eta + k)]_0^{\pi/2} dx \right)^{-1} = \frac{1}{2} \quad (1.90)$$

Funkcja rozkładu systemu zgodnie z równaniem 1.83 przyjmie postać:

$$F(\eta, k) = \begin{cases} 0 & \eta \leq 0; k \leq 0 \\ \frac{1}{2}[\sin \eta + \sin k - (\eta + k)] & 0 < \eta < \frac{\pi}{2}; 0 < k < \frac{\pi}{2} \\ \frac{1}{2}(1 + \sin \eta - \cos \eta) & 0 < \eta < \frac{\pi}{2}; k \geq \frac{\pi}{2} \\ \frac{1}{2}(1 + \sin k - \cos k) & \eta \geq \frac{\pi}{2}; 0 < k < \frac{\pi}{2} \\ 1 & \eta \geq \frac{\pi}{2}; k \geq \frac{\pi}{2} \end{cases} \quad (1.91)$$

W ten sposób określa się matematycznie oczekiwanie i rozrzut losowych wartości lepkości i plastyczności. Matematyczne oczekiwanie losowej wartości modułu lepkości jest równe:

$$\langle \eta \rangle = \frac{1}{2} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \eta \sin(\eta + k) d\eta dk = \frac{\pi}{4} = 0,785 \quad (1.92)$$

Natomiast rozrzut:

$$D_\eta = \frac{1}{2} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \eta^2 \sin(\eta + k) d\eta dk - \langle \eta \rangle^2 = \frac{\pi^2}{16} + \frac{\pi}{2} - 2 = 0,186$$

Siły symetrii gęstości można zapisać jako prawdopodobieństwo:

$$\langle \eta \rangle = \langle k \rangle = 0,785$$

$$D_\eta = D_k = 0,186$$

Jeśli na podstawie doświadczenia uzyska się inny rodzaj funkcji rozrzutu prawdopodobieństwa, wtedy zarówno wartość matematycznego oczekiwania jak i zmienność będą inne. Przedłożona metodyka wzoru matematycznego oczekiwania i rozrzutu losowych wartości może być wykorzystana przy rozwiązywaniu problemów współpracy elementu ruchomego (ciągnika) z glebą [CHIGAREV, DAWIDOWSKI, NOWOWIEJSKI 2009, 2005, FLOYD 1968].

1.10. Rozłożenie naprężeń w środowisku granulowanym poprzez oddziaływanie sił skoncentrowanych

Rozkład naprężeń w przypadku obciążenia pionowego

Glebę rozpatruje się jako środowisko granulowane, w której cząstki twarde rozmieszczone są w kolejnych słojach w ten sposób, że przekazywanie sił od każdej cząsteczki jednej warstwy następuje średnio na dwie cząsteczki następnej warstwy. Przyjęto, że rozpatrywana gleba składa się z cząstek o średnim wymierze, co określa dane środowisko jako jednorodne. Założono, że w procesie deformacji gleby cząstki gleby przemieszczają się wzdłuż prostej do góry lub w dół (zagęszczenie lub spulchnienie) z jednakowym prawdopodobieństwem równym 0,5. Takie przemieszczanie cząstek gleby może występować w czasie operacji technologicznych lub zmian pogodowych. Przy rozpatrywaniu takiego modelu zagęszczeniu gleby towarzyszy zwiększone tarcie pomiędzy cząsteczkami, które zależy od położenia środowiska, a mówiąc dokładniej od działania bocznego rozprężenia. Dlatego silnie zagęszczoną glebę można uważać jako nierozprężoną.

W nierozprężonym środowisku średnie wartości naprężeń pionowych w punkcie $M(x, z)$ są równe:

$$\sigma_z = P\lambda \sqrt{\frac{2}{az\pi}} e^{-\frac{z(\lambda x)^2}{a}} \quad (1.93)$$

w glebie rozprężonej:

$$\sigma_z = \frac{2P}{z} \sqrt{\frac{v}{\pi}} e^{-4v\left(\frac{x}{z}\right)^2} \quad (1.94)$$

gdzie:

P – wartość skupionego pionowego obciążenia na cząstki gleby;

a – średni rozmiar cząstek gleby; λ – współczynnik nierównomiernego przekazywania siły na słoje gleby;

v – współczynnik zdolności przekazywania sił w glebie;

x, z – wartości cząstki M .

Rozwiązanie problemu 1.93 prowadzi do rozwiązania różniczkowego równania typu parabolicznego.

W przypadku środowiska nierozprężonego:

– w zadaniu płaskim

$$\frac{\partial \sigma_z}{\partial z} = \frac{a}{8\lambda^2} \cdot \frac{\partial^2 \sigma_z}{\partial x^2} \quad (1.95)$$

W przypadku środowiska rozprężonego rozwiązanie zadania 1.94 sprowadza się do rozwiązania równania różniczkowych typu parabolicznego:

– dla warunków płaskich

$$\frac{\partial \sigma_z}{\partial z} = \frac{z}{8\nu} \cdot \frac{\partial^2 \sigma_z}{\partial x^2} \quad (1.96)$$

W przypadku granicznym spełnione będą warunki:

$$\sigma_z \rightarrow 0 \quad \text{gdy} \quad x \rightarrow \pm\infty, \quad y \rightarrow \pm\infty$$

gdzie:

$z = 0$: $a_z = P$ – w punkcie nacisku,

$a_z = 0$ – we wszystkich pozostałych punktach słońa glebowego.

Należy stwierdzić, że przy rozpatrywaniu innych obciążeń na glebę, będą zmieniać się warunki brzegowe. W toku rozpatrywania można zapisać dla warunków płaskich równanie dla naprężeń brzegowych:

$$\tau_{xy} = -\frac{z}{8\nu} \cdot \frac{\delta \sigma_z}{\delta x} \quad (1.97)$$

i naprężenia normalnego:

$$\sigma_x = \frac{1}{8\nu} \sigma_z + \frac{z^2}{64\nu^2} \cdot \frac{\delta^2 \sigma_z}{\delta x^2} \quad (1.98)$$

Naprężenia τ_{xy}, σ_x , zależą od naprężenia pionowego, współczynnik zdolności rozprzestrzeniania środowiska ν i współrzędnej x .

Jeśli $\sigma_z = \text{const.}$, tj. nie zależy od x , wtedy $\tau_{xy} = 0$, a ze wzoru 1.98 otrzymuje się:

$$\sigma_x = \frac{1}{8\nu} \sigma_z = \xi \sigma_z \quad (1.99)$$

gdzie: ξ – nazywany jest współczynnikiem bocznym rozprężenia gleby

Rozkład naprężeń przy obciążeniu pionowym

W przypadku działania skumulowanej pionowej siły T na masyw glebowy, rozwiązanie zadania dla dwumianowego przypadku rozprężanego środowiska można sprowadzić do rozwiązania równań, zależnych od dwóch współrzędnych x i z . Gdy $x > 0$, naprężenia wzdłuż osi x można określić według równania:

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} = \frac{x}{8\nu_1} \cdot \frac{\partial^2 \sigma_x}{\partial z^2} \quad (1.100)$$

a przy $x < 0$ równanie będzie miało postać:

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} = \frac{|x|}{8\nu_2} \cdot \frac{\partial^2 \sigma_x}{\partial z^2} \quad (1.101)$$

gdzie:

ν_1 – współczynnik, charakteryzujący zdolność gleby do rozdzielania przy naprężeniu sił ściskających;

ν_2 – współczynnik charakteryzujący zdolność gleby do przekazywania się naprężeń na rozciąganie.

Wartości graniczne dla równań 1.100 i 1.101 zapisze się w postaci:

$$\sigma_x \rightarrow 0 \quad \text{przy} \quad z \rightarrow \pm\infty, \quad \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} \rightarrow \pm\infty \quad \text{przy} \quad z = 0$$

Dla równania 1.100 przy $x = 0$: $\sigma_x = \frac{T}{2}$ w punkcie przyłożenia koncentrowanej siły $\sigma_x = 0$ we wszystkich pozostałych punktach osi z .

Dla równania 1.101 przy $x = 0$: $\sigma_x = -\frac{T}{2}$ w punkcie przyłożenia koncentrowanej siły $\sigma_x = 0$ we wszystkich pozostałych punktach osi z .

Analogiczne rozumowanie można przeprowadzić dla środowiska nie podlegającego rozprężeniu.

Rozwiązując te równania, otrzymuje się wyrażenie dla naprężeń poziomych. W przypadku środowiska podlegającego rozprężeniu:

a) dla zadania płaskiego:

$$\sigma_x = \frac{2T}{x} \sqrt{\frac{v}{\pi}} e^{-\frac{4vz^2}{x^2}} \quad (1.102)$$

b) dla zadania przestrzennego:

$$\sigma_x = \pm \frac{4T}{\pi} \cdot \frac{v}{x^2} \cdot e^{-\frac{4v(z^2+y^2)}{x^2}} \quad (1.103)$$

Wyrażenia na naprężeń w kierunku pionowym i naprężeń stycznych można uzyskać dla warunków równowagi środowiska. Dla środowiska podlegającego rozprężeniu w warunkach poziomych otrzymuje się następujące równania:

$$\sigma_z = \frac{z^2}{x^2} \sigma_x \quad (1.104)$$

$$\tau_{xz} = \tau_{zx} = \frac{z}{x} \sigma_x \quad (1.105)$$

W ten sposób można określić punkty naprężenia w masywie glebowym przy obciążeniach powierzchniowych pionowych i poziomych spowodowanych przez maszyny i urządzenia rolnicze o charakterze niedeterminowanym.

2. PARAMETRY ODDZIAŁYWANIA W MODELACH „MASZYNA – ŚRODOWISKO”

2.1 Charakterystyka kinematyczna kół oporowych maszyn rolniczych

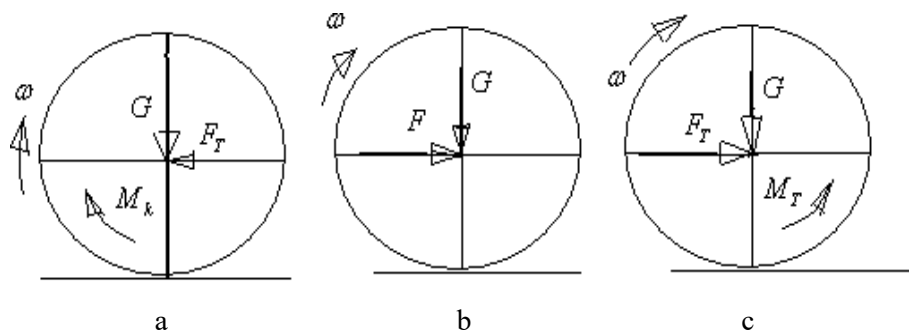
W podstawach produkcji i prognozowania systemu maszyn należy uwzględniać ich oddziaływanie na środowisko. Z jednej strony środowisko i jego stan wpływa na pracę maszyn, a z drugiej strony maszyny powodują zmiany fizyczne w środowisku. Takie współzależności powodują konieczność rozpatrywania oddziaływania środowiska i maszyn. W rolnictwie aktualnie są do rozwiązania zagadnienia takie jak: kontakt kół (gąsienicy, pługa i innych powodujących deformację) z glebą oraz zużycia narzędzi.

Podstawowe znaczenie ma oddziaływanie „maszyna – gleba”. Schemat „maszyna- gleba” bazuje na modelach współdziałania koła (gąsienicy, pługa i innych) z glebą. W mechanicznym rozliczeniu tego modelu mamy do czynienia z dwoma głównymi czynnikami – oddziaływaniu na glebę przez maszyny rolnicze i opór ze strony gleby. Istnieje kilka podejść w tym względzie. Im bardziej dokładnie opracowany jest system współdziałania, tym bardziej skuteczne będą zalecenia dla opracowania systemu maszyn, działania ochraniające glebę, a tym samym ochronę środowiska.

Największe szkody gleby, z punktu widzenia zburzenia jej struktury, przyspieszenia procesów erozji, powodują ciężkie ciągniki kołowe i maszyny rolnicze, których obciążeniem są koła. Do chwili obecnej nie ma dokładnej teorii matematycznej o wzajemnym wpływie koło-gleba przy pomocy której można by było rozwiązać problem zbyt dużego zagęszczenia gleby przez kołowe maszyny rolnicze. Problem ten związany jest głównie z dużymi trudnościami matematycznymi, ponieważ w modelach oddziaływania trzeba uwzględnić wiele parametrów zmienności. Teoria oddziaływania rolniczego deformatora z glebą opiera się na teorii kołysania, teorii kontaktowego współdziałania, właściwości reologicznych oraz teorii informacji. Przedstawione zostaną niektóre podstawowe pojęcia i obliczenia teorii toczenia koła, które mogą być wykorzystane przy konstrukcji nowych maszyn i agregatów, a także przydatne w tworzeniu i prognozowaniu systemu maszyn do obróbki ziemi

i ochronie środowiska. Prowadzące i prowadzone koła charakteryzują się różnymi rozwiązaniami przyłożenia sił [CHIGAREV 2006].

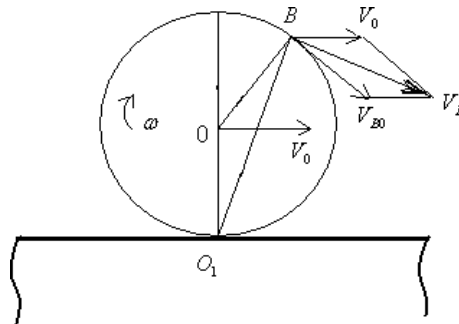
Dla koła prowadzącego moment stromy M_k działający na piastę od przekazu mocy, skierowany jest w stronę obrotu (rys. 2.1a). G i F_T – składowe siły reakcji powiązań od korpusu maszyny.



Rys. 2.1. Schemat przyłożenia sił i momentów do koła

Koło będzie prowadzone wtedy, kiedy moment M_k będzie równy zero (rys. 2.1b). W tym przypadku do osi koła będzie przyłożenie od korpusu maszyny siła pchnięcia $F = 0$. Jeśli koło hamuje, to do jego piasty, przyłożony jest moment hamowania M_T , skierowany w kierunku przeciwnym do ruchu (rys. 2.1c).

Rozpatrzona zostanie kinematyka kołysania sztywnego koła o promieniu r po powierzchni niepodlegającej deformacji. Taki model oddziaływania może być badany w przypadku ruchu agregatów kołowych po gruncie twardym lub silnie zagęszczonej glebie. W tym przypadku można uważać, że kontakt koła z podstawą przechodzi po linii (momentalna oś obrotu), a w płaszczyźnie pionowej punktem kontaktowym jest punkt O_1 – momentalne centrum prędkości (rys. 2.2). W punkcie O_1 prędkość $V_{01} = 0$. Prędkość środka koła jest równa $V_0 = \omega r$.



Rys. 2.2. Kinematyka kołysania sztywnego koła

Wybrany został na obwodzie koła dowolny punkt B .

Ponieważ $\omega = \frac{V_B}{BO_1} = \frac{V_O}{OO_1}$ to $V_B = \frac{V_O BO_1}{OO_1}$

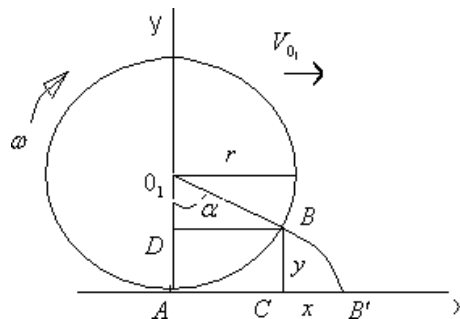
uwzględniając, że $OO_1 = r$, $BO_1 = 2r \cos \frac{\alpha}{2}$ ($\alpha = \omega t$)

stąd $V_B = 2\omega r \cos \frac{\alpha}{2}$

Prędkość punktu A (rys. 2.3):

$$V_A = 2\omega r \quad (2.1)$$

Równanie ruchu punktu B obwodu koła w stosunku do płaszczyzny ze współrzędnymi $A x y$ (rys. 2.3).



Rys. 2.3. Trajektoria punktu na obwodzie sztywnego koła podczas ruchu

Przy skręceniu koła pod kątem α , jego oś przesunie się, a punkt B koła znajdzie się w położeniu B' . Współrzędne x punktu B można przedstawić w postaci równania $x = AB' - AC$.

Przy braku ślizgania i buksowania $AB = AB' = \alpha r$, a odległość $AC = r \sin \alpha$ ($AC = DB$).

Współrzędne y punktu B można przedstawić w postaci $y = CB = AD = AO_1 - DO_1$, gdzie: $AO_1 = r$; $DO_1 = r \cos \alpha$.

Wtedy równania ruchu punktu B :

$$x = r\alpha - r \sin \alpha = r(\alpha - \sin \alpha); \quad (2.2)$$

$$y = r - r \cos \alpha = r(1 - \cos \alpha). \quad (2.3)$$

Równania 2.1 i 2.2 opisują cykloidy. Przy równomiernym obrocie koła występuje $\omega = \text{const}$. Wtedy projekcja prędkości punktu B wzdłuż osi x i y wynosi odpowiednio:

$$V_x = r \cdot \omega(1 - \cos \alpha) \quad (2.4)$$

$$V_y = r \cdot \omega \cdot \sin \alpha \quad (2.5)$$

Projekcja przyspieszenia punktu koła wzdłuż osi x wynosi:

$$a_x = \frac{dV_x}{dt} = r \cdot \omega^2 \cdot \sin \alpha \quad (2.6)$$

Projekcja przyspieszenia punktu koła wzdłuż osi y wynosi:

$$a_y = \frac{dV_y}{dt} = r \cdot \omega^2 \cdot \cos \alpha \quad (2.7)$$

Końcowe przyspieszenie punktu B oblicza się według równania:

$$a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2} \quad a = r \cdot \omega^2 \quad (2.8)$$

Wynikowe przyspieszenie według modelu w danym przypadku równa się przyspieszeniu dośrodkowemu odnośnie ruchu punktów obwodu koła.

2.2 Określenie sił oporowych gleby pod obwodem sztywnego koła

Sztywne koła występuje w wielu agregatach rolniczych, dlatego należy uwzględnić ich wpływ na właściwości uciążu ciągnika i zmian fizycznych właściwości gleby.

Cząstki gleby pod obwodem koła, na przykład punkt A , w prostokątnym systemie współrzędnych, będzie poruszać się zgodnie z równaniem (rys. 2.4)

$$x = l_0 - r(\alpha - \sin \alpha) \quad (2.9)$$

$$y = r(1 - \cos \alpha) \quad (2.10)$$

gdzie: $l_0 = r\alpha_0$ – wartość stała; α_0 – kąt odpowiadający położeniu początkowemu wybranego punktu A na obwodzie koła; α – bieżący kąt, związany z przemieszczeniem punktu A .

Równania 2.9 i 2.10 określają cykloidę. Zmiany współrzędnych punktu A w zależności od kąta α można przedstawić w postaci równania

$$\frac{dx}{d\alpha} = -r + r \cos \alpha = r(\cos \alpha - 1) \quad (2.11)$$

$$\frac{dy}{d\alpha} = r \sin \alpha \quad (2.12)$$

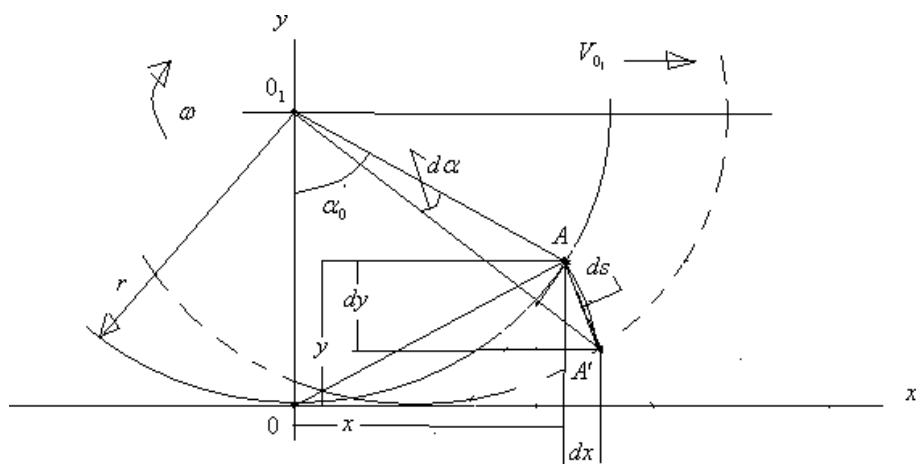
Przy obrocie koła na podstawowy kąt $d\alpha$ cząstki gleby pod obwodem przesuną się z położenia A w położenie pozycji A' na odcinek cykloidy $AA' = ds$.

Można założyć, że

$$ds = \sqrt{dx^2 + dy^2} \quad (2.13)$$

Przy uwzględnieniu 2.11 i 2.12 zapisze się:

$$ds = \sqrt{[(\cos \alpha - 1)r d\alpha]^2 + (r \sin \alpha d\alpha)^2} \quad (2.14)$$



Rys. 2.4. Kinematyka przemieszczania cząstek gleby pod obwodem koła

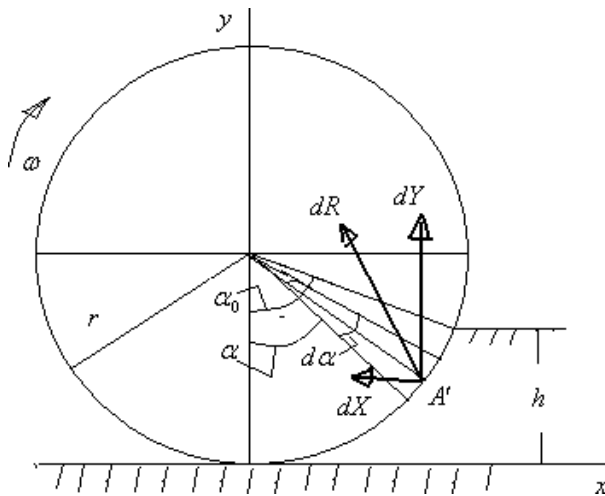
Ponieważ, $\sin^2 \alpha = \frac{1 - \cos 2\alpha}{2}$ jest to równanie 2.14 wtedy przyjmie postać

$$s = \int_{\alpha}^{\alpha_0} 2r \sin \frac{\alpha}{2} d\alpha = 4r \left(\cos \frac{\alpha}{2} - \cos \frac{\alpha_0}{2} \right) \quad (2.15)$$

Cząstki gleby A pod obwodem koła wykonują drogę s , obniżając się na głębokość y . Jeśli punkt A znajduje się równocześnie do powierzchni gleby i obwodzie koła, to po przechodząc drogę s , cząstka obniży się na głębokość koleiny kół. Przy głębokości koleiny h odpowiada kąt α_0 , tj. przy $\alpha = \alpha_0$ z równania 2.14 wynika, że $s = 0$, a zatem $h = 0$.

Przy $\alpha = 0$ wynika, że $s = 4r \left(1 - \cos \frac{\alpha_0}{2}\right) = 8r \sin \frac{\alpha_0}{4}$ i głębokość koleiny jest inna niż zero, to jest równa h . Przyjęto, że elementarnej powierzchni obwodu koła $dA = br \cos \frac{\alpha}{2} d\alpha$ odpowiada elementarna reakcja gruntu dR , proporcjonalna promieniowi naprężenia σ_R , szerokości koła b i długość łuku $AA' = s$, to jest można zapisać w równaniu (rys. 2.5)

$$dR = \sigma_R dA = \sigma_R br \cos \frac{\alpha}{2} d\alpha \quad (2.16)$$



Rys. 2.5. Schemat sił oddziałujących na punkt koła z twardym obwodem przy toczeniu na gruncie podlegającym odkształceniom

Reakcję gleby dR rozkłada się na dwie składowe według osi x i y stąd otrzymuje się:

$$dX = -\sigma_R br \cos \frac{\alpha}{2} \sin \alpha d\alpha = -\tau br \cos \frac{\alpha}{2} d\alpha \quad (2.17)$$

$$dY = -\sigma_R br \cos \alpha \cos \frac{\alpha}{2} d\alpha = \sigma br \cos \frac{\alpha}{2} d\alpha \quad (2.18)$$

Przyjmuje się, że $\tau = \sigma_R \sin \alpha$, to jest naprężenie przemieszczania punktu, $\sigma = \sigma_R \cos \alpha$, to jest normalne napięcie. Związek między tymi naprężeniami wyraża wzór Coulomba:

$$\tau = c_0 + \sigma \operatorname{tg} \varphi \quad (2.19)$$

gdzie: c_0 – współczynnik połączenia, zależny od trwałości struktury połączeń gleby; $\operatorname{tg} \varphi$ – współczynnik tarcia wewnętrznego gleby; φ to kąt tarcia wewnętrznego.

$$X = F_{cnp} = -\int_0^{\alpha_0} \tau br \cos \frac{\alpha}{2} d\alpha \quad (2.20)$$

$$Y = G = \int_0^{\alpha_0} \sigma br \cos \frac{\alpha}{2} d\alpha \quad (2.21)$$

Ogólnie wartość σ_R , a także τ i σ zależą od kąta α lub od toru ruchu punktu s . Jeśli α kąt mały (głębokość kolein niewielka) Wtedy τ i σ można uznać jako stałe. W tym przypadku równania przyjmują postać:

$$F_{cnp} = -2\tau br \sin \frac{\alpha_0}{2} \quad (2.22)$$

$$G = 2\sigma br \sin \frac{\alpha_0}{2} \quad (2.23)$$

Z równania 2.23 można znaleźć σ , wstawiając ją we wzór 2.2, oraz uzyskuje się równanie dla naprężenia stycznego:

$$\tau = c_0 + \frac{G \cdot \operatorname{tg} \varphi}{2br \sin \frac{\alpha_0}{2}} \quad (2.24)$$

Wtedy podstawiając 2.22 w 2.23, uzyskuje się wartość siły oporu:

$$F_{cnp} = - \left(2br c_0 \sin \frac{\alpha_0}{2} + G \operatorname{tg} \varphi \right) \quad (2.25)$$

W praktyce do określenia normalnego promieniowego naprężenia często stosuje się wzór Katsygina, który przy zastosowaniu w danym przypadku ma postać:

$$\sigma_R = \sigma_0 th \frac{k_0}{\sigma_0} s \quad (2.26)$$

gdzie: s – określa się według wzoru 2.15; σ_0 – granica zdolności gleby; k_0 – współczynnik zgniecenia objętościowego gleby.

Podstawowa reakcja gleby w punktach A' z równań 2.16 i 2.17 będzie wynosić:

$$dR = br \cos \frac{\alpha}{2} \sigma_0 th \left[\frac{4k_0 r}{\sigma_0} \left(\cos \frac{\alpha}{2} - \cos \frac{\alpha_0}{2} \right) \right] d\alpha \quad (2.27)$$

a jej składowe w osiach X i Y będą miały postać:

$$-dX = br \cos \frac{\alpha}{2} \sigma_0 th \left[\frac{4k_0 r}{\sigma_0} \left(\cos \frac{\alpha}{2} - \cos \frac{\alpha_0}{2} \right) \right] \sin \alpha d\alpha \quad (2.28)$$

$$dY = br \cos \frac{\alpha}{2} \sigma_0 th \left[\frac{4k_0 r}{\sigma_0} \left(\cos \frac{\alpha}{2} - \cos \frac{\alpha_0}{2} \right) \right] \cos \alpha d\alpha \quad (2.29)$$

Projekcja reakcji gleby na oś X stanowi sobą siłę oporu przeciw kołysaniu F_{cnp} , to jest:

$$F_{cnp} = X = \int_0^{\alpha_0} br \cos \frac{\alpha}{2} \sigma_0 th \left[\frac{4k_0 r}{\sigma_0} \left(\cos \frac{\alpha}{2} - \cos \frac{\alpha_0}{2} \right) \right] \sin \alpha d\alpha \quad (2.30)$$

Projekcja R na osi Y równa pionowemu obciążeniu G :

$$G = Y = \int_0^{\alpha_0} br \cos \frac{\alpha}{2} \sigma_0 th \left[\frac{4k_0 r}{\sigma_0} \left(\cos \frac{\alpha}{2} - \cos \frac{\alpha_0}{2} \right) \right] \cos \alpha d\alpha \quad (2.31)$$

Do określenia F_{cnp} , należy przejść do zakresu różniczkowania od 0 do h .
Ponieważ:

$$\cos \alpha = \frac{r-y}{r} \quad (\alpha = \omega t, y = y(t)) \quad (2.32)$$

różniczkując to równanie otrzymuje się:

$$\sin \alpha d\alpha = \frac{dy}{r} \quad (2.33)$$

Wyrażenie $\sin \alpha$ można zapisać w następujący sposób:

$$\sin \alpha = \sqrt{1 - \cos^2 \alpha} = \sqrt{1 - \left(\frac{r-y}{r} \right)^2} = \frac{1}{r} \sqrt{2ry - y^2} \quad (2.34)$$

stąd

$$d\alpha = \frac{dy}{\sqrt{2ry - y^2}} \quad (2.35)$$

Przedstawiając poprzez nowe zmienne:

$$\cos \frac{\alpha}{2} = \sqrt{\frac{1+\cos \alpha}{2}} = \sqrt{\frac{1+\frac{r-y}{r}}{2}} = \sqrt{\frac{2r-y}{2r}} \quad (2.36)$$

Analogicznie:

$$\cos \frac{\alpha_0}{2} = \sqrt{\frac{2r-h}{2r}} \quad (2.37)$$

wtedy równania dla określenia siły oporu toczenia:

$$F_{cnp} = b\sigma_0 \int_0^h \sqrt{\frac{2r-y}{2r}} th \left[\frac{4k_0 r}{\sigma_0} \left(\sqrt{\frac{2r-y}{2r}} - \sqrt{\frac{2r-h}{2r}} \right) \right] dy \quad (2.38)$$

Dla głębokości h przekształcono równanie 2.31. Ponieważ $\sin \alpha = \frac{x}{r}$ po zróżniczkowaniu otrzymuje się $\cos \alpha = \frac{dx}{rd\alpha}$, ponieważ $\cos \alpha = \sqrt{1 - \left(\frac{x}{r}\right)^2}$, wtedy $d\alpha = \frac{dx}{\sqrt{1 - \left(\frac{x}{r}\right)^2}}$

Ze wzoru $\cos^2 \frac{\alpha}{2} = \frac{1+\cos \alpha}{2}$ otrzymuje się

$$\cos \frac{\alpha}{2} = \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{1 - \left(\frac{x}{r}\right)^2}}; \cos \frac{\alpha_0}{2} = \sqrt{\frac{2r-h}{2r}} \quad (2.39)$$

Po przekształceniu równania 2.31 z uwzględnieniem równania 2.39 otrzymuje się równanie dla obliczenia h :

$$G = b\sigma_0 \int_0^{\sqrt{2rh-h^2}} \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{1}{2}\sqrt{1 - \left(\frac{x}{r}\right)^2}} th \left[\frac{4k_0r}{\sigma_0} \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{2}\sqrt{1 - \left(\frac{x}{r}\right)^2} - \sqrt{\frac{2r-h}{2r}} \right) \right] dx \quad (2.40)$$

Wzory 2.38 i 2.40 pokazują, że siła F_{cnp} i głębokość klein h zależą od obciążenia pionowego G koła, promienia r i szerokości obręczy b koła, a także od fizykomechanicznych właściwości gleby – granicznej zdolności nośności σ_0 i współczynnika zgniecenia objętościowego k_0 .

Właściwości reakcji gleby R określa się następującymi współrzędnymi: odległość c i promień dynamiczny r_D , w przypadku przyjęcia prawa między naprężeniami promienistymi i absolutnej deformacji w postaci hiperbolicznego tangensa.

Wartości sił G i F_{cnp} jako funkcje zmiennych x i y można zapisać przyjmując wzory 2.38 i 2.40 w postaci:

$$f(x) = b\sigma_0 \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{1}{2}\sqrt{1 - \left(\frac{x}{r}\right)^2}} th \left[\frac{4k_0r}{\sigma_0} \left(\sqrt{\frac{1}{2} + \frac{1}{2}\sqrt{1 - \left(\frac{x}{r}\right)^2}} - \sqrt{\frac{2r-h}{2r}} \right) \right] \quad (2.41)$$

$$f(y) = b\sigma_0 \sqrt{\frac{2r-y}{y}} th \left[\frac{4k_0r}{\sigma_0} \left(\sqrt{\frac{2r-y}{y}} - \sqrt{\frac{2r-h}{2r}} \right) \right] \quad (2.42)$$

Wtedy moment siły F_{cnp} jest równy:

$$F_{cnp}e = \int f(x)xdx \quad (2.43)$$

gdzie: $e = r - r_D$.

Przedstawiając równanie:

$$r - r_D = \frac{\int f(x)xdx}{F_{cnp}} \quad (2.44)$$

lub:

$$r_D = r - \frac{b\sigma_0 \int_0^{\sqrt{2rh-h^2}} \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{1}{2}\sqrt{1-\left(\frac{x}{r}\right)^2}} th \left[\frac{4k_0r}{\sigma_0} \left(\sqrt{\frac{1}{2} + \frac{1}{2}\sqrt{1-\left(\frac{x}{r}\right)^2}} - \sqrt{\frac{2r-h}{2r}} \right) \right] xdx}{F_{cnp}} \quad (2.45)$$

Moment siły G (rys. 2.6):

$$Gc = \int f(y)ydy \quad (2.46)$$

Skąd współczynnik tarcia toczenia c jest równy:

$$c = \frac{\int f(y)ydy}{G} \quad (2.47)$$

lub:

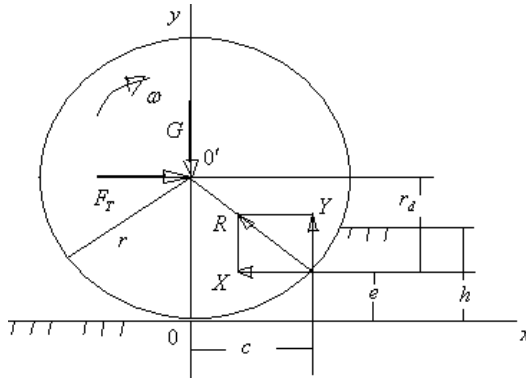
$$c = \frac{b\sigma_0 \int_0^{\sqrt{\frac{2r-y}{2r}}} th \left[\frac{4k_0r}{\sigma_0} \left(\sqrt{\frac{2r-y}{2r}} - \sqrt{\frac{2r-h}{2r}} \right) \right] ydy}{G} \quad (2.48)$$

Jeśli głębokość kolein h jest mała w porównaniu z promieniem koła r , to wykorzystując przybliżone wzory do określenia głębokości kolein i siły oporu uzyskuje się równania:

$$h = \sqrt[3]{\frac{G^2}{k_0^2 b^2 D}} \quad (2.49)$$

$$F_{cnp} = 0,5G \sqrt{\frac{G}{k_0 b D^2}} \quad (2.50)$$

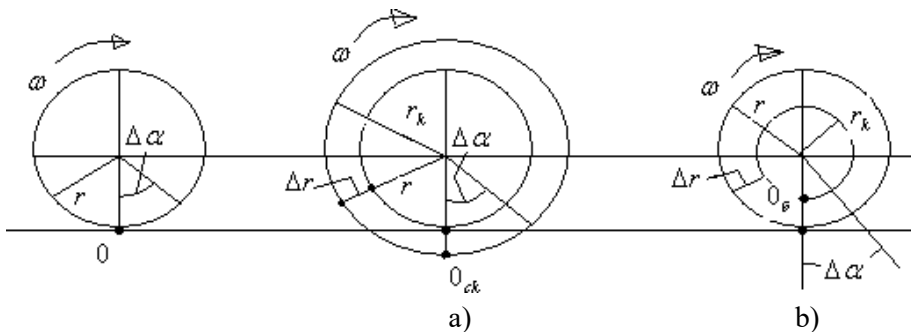
Jak wynika ze wzorów 2.49 i 2.50, głębokość kolein i siły oporu toczenia zależą od obciążenia pionowego, szerokości i średnicy kół oraz współczynnika zgniecenia objętościowego gleby. Ze wzoru 2.50 wynika, że dla zmniejszenia oporu toczenia celowym jest zwiększenie średnicy kół, a nie ich szerokości.



Rys. 2.6. Oddziaływanie twardego koła na utwardzoną glebę

2.3 Poślizg i buksowanie

Przy niedostatecznym kontakcie obwodu koła z powierzchnią gleby, koło zaczyna się ślizgać. W tym przypadku droga, którą przechodzi oś koła przy obrocie o kąt $\Delta\alpha$ jest większa od łuku obrotu (rys. 2.7). Pomyślane realne koło o promieniu r (rys. 2.7a) zamienia się na koło o promieniu rk ($rk > r$), które toczy się bez ślizgania się po danej powierzchni. Wtedy dla koła o promieniu rk , chwilowe centrum obrotu osi przechodzi przez punkt O_{ck} .



Rys. 2.7. Kinematyka toczenia twardego koła przy ślizganiu i buksowaniu

Oś wyobrażonego koła przy ślizganiu wykona drogę:

$$\Delta S = (r + \Delta r)\Delta\alpha; (\Delta r = r_k - r) \quad (2.51)$$

Różnica między ścieżkami, przez które przebiega oś wyobrażenia i rzeczywistości koła, podczas poślizgu: $\Delta S - r\Delta r = \Delta r\Delta\alpha$.

Współczynnik poślizgu jest określony przez wyrażenie:

$$\nu = \frac{\Delta r}{r}; (\Delta r = r_k - r) \quad (2.52)$$

Skąd otrzymuje się:

$$r_k = r(1 + \nu)$$

Jeśli $r_k = r$ to $\nu = 0$ i koło obraca się bez ślizgania. Przy $r_k \rightarrow \infty$ lub $\Delta r \rightarrow \infty$ współczynnik ślizgania będzie nieograniczenie wzrastać:

$$\lim_{r_k \rightarrow \infty} \nu = \frac{\Delta r \rightarrow \infty}{r} = \infty$$

W tym przypadku koło jest całkowicie zablokowane i ślizga się po powierzchni.

W analogicznych warunkach ruchu, z uwzględnieniem przyłożenia do koła momentu wiodącego z niedostatecznym połączeniu obwodu z powierzchnią ruchu, koło zaczyna buksować. W tym przypadku łuk obrotu koła zaczyna być większy od drogi, jaką przechodzi oś koła, przy jej skręcie pod kątem $\Delta\alpha$, a momentalna oś obrotu przemieszcza się do punktu O_{byk} (rys. 2.7b).

W przypadku buksowania realne koło zamienia się na koło o mniejszym promieniu $r - \Delta r = r_k$, które porusza się bez buksowania, przy czym momentalny środek obrotu przechodzi do punktu O_{byk} .

Drogę jaką pokona ós wyobrażonego koła przy jej obrocie o kąt $\Delta\alpha$, przy buksowaniu określa się w równaniu $\Delta S = (r - \Delta r)\Delta\alpha$ Stąd można zapisać $r\Delta\alpha - \Delta S = (r - r_k)\Delta\alpha = \Delta r\Delta\alpha$.

Współczynnik buksowania oblicza się według równania:

$$\delta = \frac{(r-r_k)\Delta\alpha}{r\Delta\alpha} = 1 - \frac{r_k}{r} = \frac{\Delta r}{r} \quad (2.53)$$

skąd:

$$r_k = r(1 - \delta) \quad (2.54)$$

Jeśli $r_k = r$ to jest $\Delta r = 0$ wtedy $\delta = 0$ i wtedy koło toczy się bez buksowania. Jeśli $r_k \rightarrow 0$ wtedy $\Delta r \rightarrow r$ stąd w danym przypadku:

$$\lim_{r_k \rightarrow 0} \delta = 1 - \frac{r_{k \rightarrow 0}}{r} = \frac{\Delta r \rightarrow r}{r} = 1$$

Koło cały czas buksuje i prędkość osi realnego koła jest równa 0.

Jak wynika z wyżej przedstawionej analizy, współczynnik poślizgu zmienia się w przedziale od 0 do ∞ , a współczynnik buksowania od 0 do 1.

Przy poślizgu lub buksowaniu koła, jej punkt wykonuje trajektorie, którą opisuje następujące równanie:

$$x = r(\alpha - \lambda \sin \alpha) \quad (2.55)$$

$$y = r(1 - \lambda \cos \alpha) \quad (2.56)$$

gdzie: λ – stosunek promieni wyobrażonego koła do realnego to jest $\lambda = \frac{r_k}{r}$.

Przy poślizgu, jak określono już wcześniej, występuje:

$$\lambda = \frac{r_k}{r} = 1 + \nu, (\lambda > 1) \quad (2.57)$$

a równanie punktów obwodu koła ma postać:

$$x = r(\alpha - (1 + \nu) \sin \alpha) \quad (2.58)$$

$$y = r(1 - (1 + \nu) \cos \alpha) \quad (2.59)$$

Prędkość punktów obwodu koła przy poślizgu wzdłuż osi x i y odpowiadają równania:

$$\dot{x} = r\bar{\omega}(1 - (1 + \nu) \sin \bar{\omega}t) \quad (2.60)$$

$$\dot{y} = r\bar{\omega}(1 + \nu) \sin \bar{\omega}t \quad (2.61)$$

Przy $\nu = 0$ przechodzi się do równań 2.4. i 2.5.

Przy buksowaniu:

$$\lambda = \frac{r_k}{r} = 1 - \delta, (\lambda < 1) \quad (2.62)$$

Równania dla punktów obwodu koła będzie miało postać:

$$x = r(\alpha - (1 - \delta) \sin \alpha) \quad (2.63)$$

$$y = r(1 - (1 - \delta) \cos \alpha) \quad (2.64)$$

Prędkość punktów obwodu koła wzdłuż osi buksowania ma postać:

$$\dot{x} = r\bar{\omega}(1 - (1 - \delta) \sin \bar{\omega}t) \quad (2.65)$$

$$\dot{y} = r\bar{\omega}(1 - \delta) \sin \bar{\omega}t \quad (2.66)$$

Przy $\delta = 0$ otrzymuje się równania dla prędkości 2.4 i 2.5.

Punkty osi koła poruszają się postępująco, a wartości ich liniowej prędkości $V_D = r_2 \omega$ w tym przypadku ruch będzie zależeć od poślizgu lub buksowania.

W przypadku poślizgu jest równanie

$$V_D = r_k \omega = r\omega(1 + \nu) \quad (2.67)$$

Przy $\nu = 0$ prędkość V_D osi koła będzie równa tak zwanej prędkości teoretycznej $V_T = V_D = r\omega$. Dowolne zwiększenie współczynnika poślizgu prowadzi do zmniejszenia prędkości kątowej to jest przy $\nu \rightarrow \infty$ prędkość kątowa $\omega \rightarrow \infty$.

W przypadku buksowania:

$$V_D = r_k \omega = r\omega(1 - \delta) \quad (2.68)$$

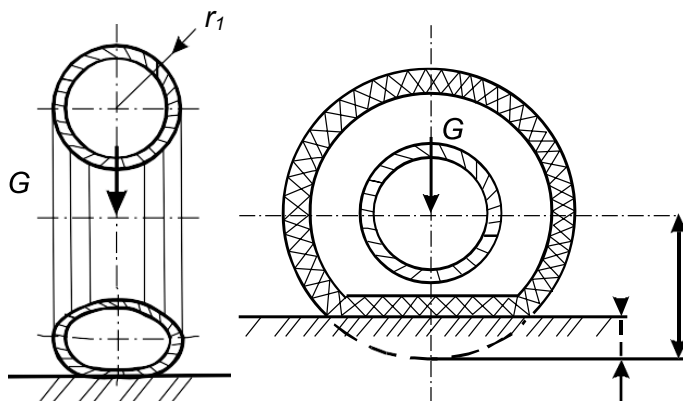
Przy $\delta = 0$, $V_D = V_T = r\omega$

Przy $\delta = 1$ wynika, prędkość osi koła $V_D = 0$.

2.4 Deformacja opon

Wiele maszyn rolniczych posiada opony pneumatyczne, które w styczności z glebą ulegają deformacji. Koła z oponami w czasie jazdy będą miały różny promień, który będzie zależeć od obciążenia na oś, mechanicznych cech materiałów kontaktujących się (opony i gleby) oraz ciśnienia oponie.

Jeśli na oś działa obciążenie pionowe G (rys. 2.8), to związek pomiędzy normalnym odkształceniem opony h_m a obciążeniem G jest nieliniowa (rys. 2.9, krzywa 1). W miarę wzrostu obciążenia deformacja jest wolniejsza.



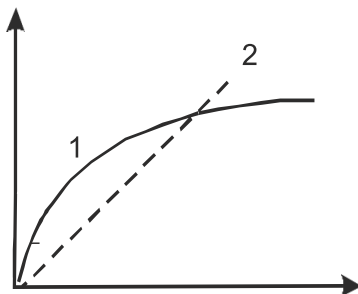
Rys. 2.8. Deformacja opony pod wpływem działania normalnego obciążenia

W praktyce z dostatecznym stopniem dokładności, wykorzystana jest zależność G i h_m (rys. 2.9 linia 2), którą opisuje wzór Cheidekela:

$$h_m = \frac{G}{2\pi p_m \sqrt{r_0 r_c}} \quad (2.69)$$

gdzie:

p_m – ciśnienie powietrza w oponie, Pa,
 r_0 – wolny promień nieobciążonego koła, m,
 r_c – promień przekroju opony, m.



Rys. 2.9. Wpływ normalnego obciążenia na deformację opony: 1 – realna zależność h_m od G , 2 – przybliżona zależność h_m od G

Równanie $2\pi p_m \sqrt{r_0} r_c = \lambda$ nazywa się współczynnikiem twardości. Wtedy $h_m = \frac{G}{\lambda_n}$

Rozróżnia się cztery rodzaje deformacji opon: normalne (promienistą), tangenoidalną (obwodową), poprzeczną (boczną) i kątową.

Promieniem statystycznym v_{st} nazywa się odległość od osi nieruchomego koła, obciążonego normalną siłą do powierzchni jego oporu. Zwykle statystyczny promień koła mierzy się za pomocą powierzchni twardej. Wraz ze wzrostem normalnego obciążenia i obniżeniem ciśnienia powietrza w oponie promień statystyczny koła zmniejsza się.

Dynamicznym (siłowym) promieniem r_D poruszającego się koła nazywa się odległość od osi koła do poziomej odpowiadającej z równą siłą reakcji gruntu w stosunku do koła. Kiedy koło toczy się z małą prędkością po twardej drodze lub asfalcie, promień dynamiczny jest równy w przybliżeniu statystycznemu.

Promień toczenia r_k jest promieniem takiego wyobrażonego koła, które poruszając się bez poślizgu lub buksowania, ma taką prędkość poruszania się jak koło realne. Kinematyczny promień określa drogę, które wynosi tyle ile jeden obrót.

Promień kinematyczny w pierwszym przybliżeniu oblicza się według wzorów:

– w przypadku koła napędzanego:

$$r_k = \frac{r_0 - G}{\lambda_n} (1 + \nu) \quad (2.70)$$

– w przypadku koła prowadzącego:

$$r_k = \left(r_0 - \frac{G}{\lambda_n} - \xi \frac{M_k}{\lambda_\tau} \right) (1 - \delta) \quad (2.71)$$

– w przypadku koła hamującego:

$$r_k = \left(r_0 - \frac{G}{\lambda_n} - \xi \frac{M_\tau}{\lambda_\tau} \right) (1 + \nu) \quad (2.72)$$

gdzie:

λ_τ – twardość opony w kierunku tangenoidalnym;

M_k – moment skrętu oddziaływujący na koło;

ξ – współczynnik pokazujący zwiększenie osiadania opony pod wpływem działania momentu skręcającego;

M_τ – moment hamowania.

2.5 Ogólny przypadek działania układu sił przy wzajemnym kontaktowaniu

Przy rozpatrywaniu ruchu koła maszyny rolniczej po poziomej powierzchni ulegającej deformacji (odkształceniu) można zauważyć, że większość maszyn i agregatów rolniczych mają koła prowadzone (kultywatory, siewniki, opryskiwacze i inne), na które działają różne siły przedstawione na rysunku 2.10, gdzie: $F\tau$ – siły działające ze strony zestawu maszyn (ciągnika, agregatu) skierowane w kierunku ruchu koła; G – pionowe obciążenie na osi koła; $F_{in} = ma$ – siła inercji przyłożonego ruchu $m = \frac{G}{g}$ masa, $a = \frac{dv}{dt}$ – przyspieszenie osi koła, g – przyspieszenie wolnego spadania); $M_{in} = J\varepsilon$ – moment napędu sił inercji przy ruchu względnym (J – moment inercji, ε – przyspieszenie kątowe). W przypadku równomiernego przenoszonego i względnego ruchu $F_{in} = 0$ i $M_{in} = 0$.

Przy rozkładzie równomiernej reakcji gruntu R w punkcie O_1 na składowe poziome i pionowe X i Y . Stwierdzono, że przy równomiernym ruchu kierunek równo działających reakcji gleby następuje przez środek koła O . W przypadku przyspieszonego ruchu reakcja przebiega powyżej, a przy ruchu zwalnającym poniżej osi obrotu O .

Wzory równowagi są następujące:

$$\sum X = 0; F_{\tau} = X + F_{in} \quad (2.73)$$

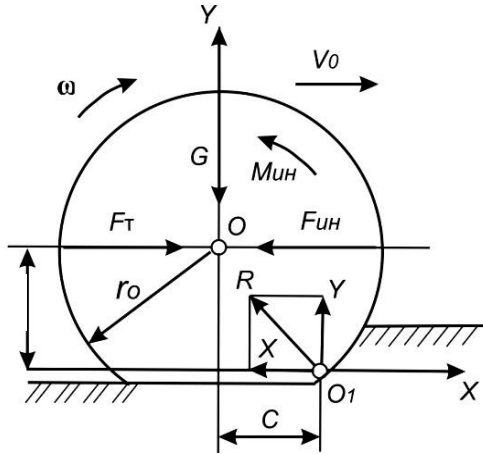
$$\sum Y = 0; Y = G \quad (2.74)$$

$$\sum M_0 = 0; X_{r_D} = Y_C + M_{in} \quad (2.75)$$

gdzie:

r_D – promień dynamiczny;

c – współczynnik tarcia (oporu) przy ruchu



Rys. 2.10. Schemat sił działających na koło prowadzone, koło z oponą

Wielkość $Y_c = G_c$ jest to moment sił oporu obrotu koła po powierzchni gruntu $Y_c = G_c = M_{cnp}$.

Przy równomiernym ruchu koła $a = 0$, $\varepsilon = 0$ i zrównoważenia momentów otrzymuje się równanie:

$$X_{r_D} = F_T \cdot r_D = M_{cnp} \quad (Y_C = M_{cnp}) \quad (2.76)$$

stosunek:

$$\frac{M_{cnp}}{r_D} = F_{cnp} \quad (2.77)$$

nazywa się siłą przeciwstawienia się toczeniu. Przy wystąpieniu warunków $F_{cnp} = X$.

Stosunek siły popychającej F_T w stosunku do obciążenia G przy równomiernym toczeniu koła ciągniętego nazywa się współczynnikiem toczenia:

$$\frac{F_T}{G} = f \quad (2.78)$$

Poprzez przeniesienie licznika i mianownika przez r_D otrzymuje się równanie:

$$f = \frac{F_T r_D}{G r_D} = \frac{M_{cnp}}{G r_D} = \frac{G_C}{G r_D} = \frac{c}{r_D} \quad (2.79)$$

W ten sposób, współczynnik toczenia się ciągniętego koła równy jest stosunkowi współczynnika tarcia toczenia do dynamicznego promienia koła.

Mnożąc obie części 2.75 przez kątową prędkość ruchu ω i uwzględniając równanie 2.73, otrzymuje się równanie określające równowagę siły użytej na deformację gleby i ruch koła:

$$F_T r_D \omega = M_{cnp} \omega + M_{in} \omega + F_{in} V_T \quad (2.80)$$

Przy braku poślizgu i buksowania można uważać, że $r_D \omega = V_T$ wtedy równanie balansu siły przyjmie postać:

$$F_T V_T = M_{cnp} \omega + M_{in} \omega + F_{in} V_T \quad (2.81)$$

gdzie: $F_T V_T$ – moc przyłożona do koła; $M_{cnp} \omega$ – moc wykorzystana na deformację gleby; $M_{in} \omega$ – moc momentu styczności się inercji koła; $F_{in} V_T$ – moc sił inercji ruchu postępowego osi koła.

Przy równomiernym ruchu koła, moc dostarczana do koła wykorzystana jest na deformację gleby, to jest:

$$F_T V_T = M_{cnp} \omega \quad (2.82)$$

Wyrażenie to może przyjąć także inną formę:

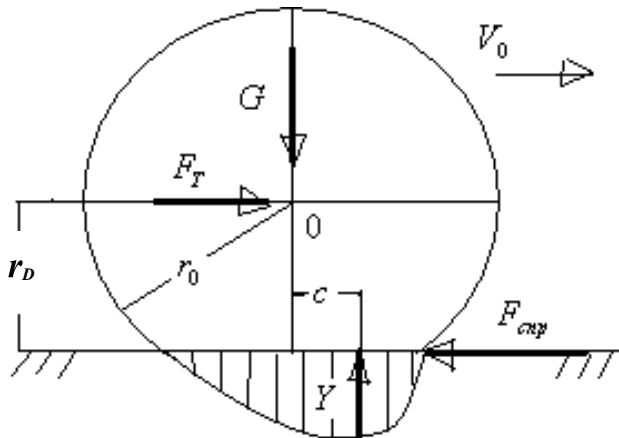
$$X_{r_D} \omega = F_{cnp} r_D \omega \quad (2.83)$$

2.6 Określenie sił oporu toczenia prowadzonego koła elastycznego na powierzchni ulegającej deformacji

Zakładając, że elastyczne koło, obciążone siłą z góry G i siłą pchnięcia F_T , przemieszczają się równomiernie po płaskiej niepodlegającej deformacji powierzchni (rozpatrywany jest przypadek ustalonego ruchu). Przednie elementy opony, mające kontakt z powierzchnią gleby, podlegają obciążeniu i deformacji, a tylne elementy tracą kontakt i obciążenie oraz wracają do pierwotnej postaci. W przypadku idealnej elastyczności opony, energia wykorzystana na deformację w strefie obciążenia, w pełni powracałaby do koła w strefie zaniku odciążenia. W rzeczywistości, część energii wykorzystana na deformację opony, ponownie nie wraca, a przechodzi w energię cieplną. Schemat sił działających na elastyczne koło i układ sił normalnych reakcji niepodlegającej deformacji podłoża przedstawiono na rysunku 2.11.

Przy rozliczaniu siły oporu poruszania się elastycznego koła po powierzchni podlegającej deformacji przy ustalonych warunkach często oblicza się według równania:

$$F_{cnp} = \frac{\gamma_m u_m \lambda_n h_m^2}{4\pi r_D} \quad (2.84)$$



Rys. 2.11. Toczenie koła elastycznego po powierzchni niepodlegającej deformacji

gdzie: h_m – normalna deformacja koła; γ_m – współczynnik proporcjonalności zależny od ciśnienia powietrza w oponie, np. przy ciśnieniu $p_m = 80-250$ kPa wynosi odpowiednio $\gamma_m = 0,12-0,15$; u_m – współczynnik obliczany ze stosunków:

$$u_m = \frac{\pi h_m (2r_0 - h_m)}{r_0^2 \left(\frac{\pi d}{180^\circ} - \sin \alpha \right)} \quad (2.85)$$

$$\alpha = 2 \arccos \frac{r_0 - h_m}{r_0} \quad (2.86)$$

λ_n – twardość opony, która przy ciśnieniu $p_m = 80-250$ kPa przyjmie wartość $\lambda_n = (17 - 38) \cdot 10^4$ H/m.

Uwzględniając wzór Cheidekela, równanie 2.86 można zapisać w postaci:

$$F_{cnp} = \gamma_m \frac{G^3}{4p_m^2 r_c^3 \pi \left(\frac{\pi d}{180^\circ} - \sin \alpha \right)} \quad (2.87)$$

Z wyrażenia 2.87 wynika, że opór toczenia koła elastycznego na powierzchni deformacji zależy od normalnego obciążenia, ciśnienia wewnętrznego i promienia przekątnej opony.

2.7 Przypadek współdziałania prowadzonego koła elastycznego z powierzchnią podlegającą deformacji

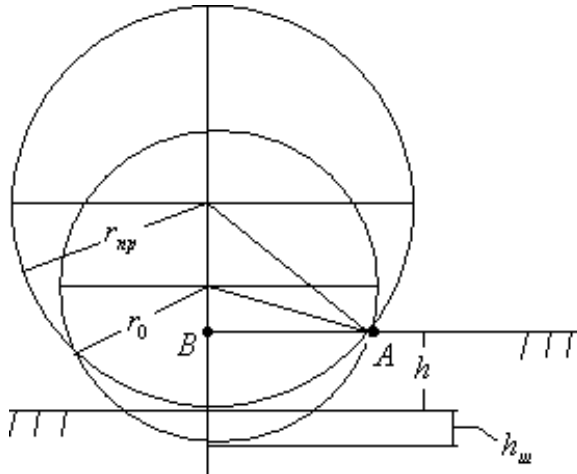
W przybliżeniu określono, że zużycie mocy na deformację opony wynosi nie więcej jak 5-6% ogólnej mocy zużywanej na ruch elastycznego koła po glebie. Dlatego koło pneumatyczne można warunkowo zamienić z twardym ze zwiększoną średnicą. W tym przypadku dla określenia głębokości koleiny i oporu toczenia się elastycznego koła można korzystać ze wzoru 2.49

i 2.50 lub wzorami 2.38 i 2.40 podstawivszy w nich w miejsce D lub r , przytoczone dla elastycznego koła, średnica twardego koła D_{np} i jego promień r_{np} . Porównując długość odcinka AB , zapisanego dla elastycznego i ekwiwalentnego dla niego twardego koła (rys. 2.12):

$$AB = \sqrt{r_0^2 - (r_0 - h - h_m)^2} = \sqrt{r_{np}^2 - (r_{np} - h)^2} \quad (2.88)$$

lub:

$$D_0(h + h_m) - (h + h_m)^2 = D_{np}h \quad (2.89)$$



Rys. 2.12. Schemat określenia przyłączonego do twardego koła średnicy elastycznego koła

Skąd:

$$D_{np} = \frac{D_0(h+h_m) - h_m(2h+h_m)}{h} = D_0 + \frac{h_m}{h} (D_0 - 2h - h_m) \quad (2.90)$$

gdzie:

r_0, D_0 promień i średnica elastycznego koła; ponieważ $D_0 > 2h + h_m$ to $D_{np} > D_0$.

Przy zmniejszeniu deformacji koła, tj. przy $h_m \rightarrow 0$ elastyczne koło zaczyna być podobne do twardego.

Dla koła twardego według wzorów 2.49 i 2.50, określa się siłę oporu toczenia i głębokość kolein. Do koła elastycznego ugięcie opony i zredukowany promień (średnica) oblicza się według wzoru Cheidekela, a siły oporu toczenia i głębokość koleiny oblicza się według wzoru 2.49 i 2.50 z uwzględnieniem zamiany D na D_{np} . Analiza wzoru 2.50 wskazuje, że dla obniżenia strat energii na utworzenie kolein w niektórych przedziale celowym jest zwiększenie średnicy koła i zmniejszenie ciśnienia powietrza w oponie. W ten sposób zwiększa się twardość z boku i siłę udźwigu.

Stwierdzono, że, elastyczne koło, w porównaniu z twardym, przy tych samych rozmiarach, powoduje płytszą koleinę i na 1,4-1,7 razy mniejszą siłę oporu toczenia.

2.8 Oddziaływanie odkształcalnego koła napędowego z glebą

W przypadku koła napędowego jego toczenie jest powoduje momentem prowadzącym M_k (rys. 2.13) przyłożonym do jego osi, reaktywną siłą F_T i pionowym obciążeniem G . Reaktywne siły, oddziaływujące ze strony gleby na koło, spowodowane są równomiernym oddziaływaniem R koła, lub jego składowych X i Y . W tym przypadku siła X skierowana zgodnie z ruchem koła i spełnia rolę siły pociągowej.

Przy nierównomiernym względnym obrotem koła powstaje moment stycznych sił inercji:

$$M_{in} = J\varepsilon. \quad (2.91)$$

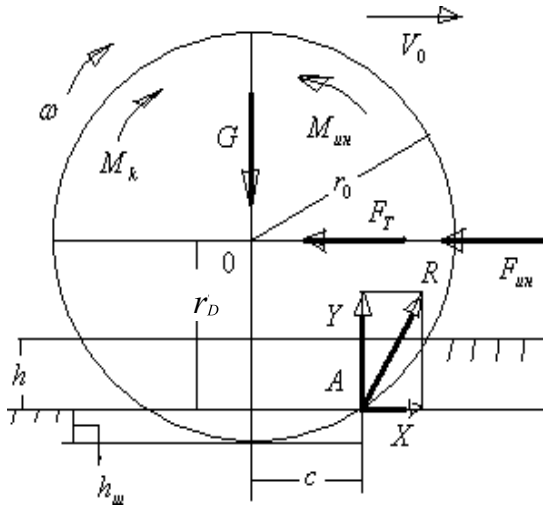
Przy nierównomiernym ruchu w kierunku osi koła powodują równoległe poziome w stosunku do osi siły inercji $F_{in} = ma$. Równanie równowagi danego systemu sił można zapisać:

$$\sum X = 0; X = F_T + F_{in} \quad (2.92)$$

$$\sum Y = 0; Y = G \quad (2.93)$$

$$\sum M_0 = 0; M_k = X_{r_D} + M_{cnp} + M_{in} \quad (2.94)$$

gdzie: $M_{cnp} = Y_C = G_C$; $M_{in} = J\dot{\omega}$



Rys. 2.12. Schemat sił oddziaływujących na koło prowadzące z oponą

Przy ruchu $X = F_T$ i $M_K = F_T r_0 + M_{cnp}$,
gdzie: $F_T r_0$ – moment siły oporu zestawu maszyn.

Mnożąc obie strony równania momentów na prędkość kątową koła ω , otrzymuje się wzór na bilansu mocy:

$$M_k \omega = X_{r_D} \omega + M_{cnp} \omega + M_{in} \omega = F_k V_T \quad (2.95)$$

Dzieląc obie części równania 2.95 przez dynamiczny promień koła otrzymuje się:

$$\frac{M_k}{r_D} = \chi + G \frac{c}{r_D} + \frac{M_{in}}{r_D} \quad (2.96)$$

Wartości $F_k = \frac{M_k}{r_D}$ nazywają się siłami stycznymi siły pociągowej, którą można zapisać w postaci $F_k = \varphi_{cy}G$, gdzie φ_{cy} – nazywa się współczynnikiem połączenia. Przy toczeniu koła prowadzącego $\varphi_{cy} < 1$. Wyrażenie $f_k = \frac{c}{r_D}$ nazywa się współczynnikiem koła prowadzącego.

Rzeczywista prędkość ruchu koła z uwzględnieniem współczynnika buksowania δ jest równa:

$$V_D = V_T(1 - \delta) \quad (2.97)$$

V_T – teoretyczna prędkość ruchu. Niejednokrotnie w równaniu prędkość teoretyczna zamienia się promień kinematyczny na dynamiczny, to jest $V_T = \omega r_D$ i wtedy:

$$V_D = \omega r_D(1 - \delta) \quad (2.98)$$

Przy uwzględnieniu, że $X = F_T + F_{in}$ i $\omega = \frac{V_T}{r_D}$ w równaniu 2.95 dodając i odejmując równanie:

$$\left(F_T + F_{in} + \frac{M_{cnp}}{r_D} \right) V_D \quad (2.99)$$

otrzymuje się równanie balansu mocy w postaci:

$$\begin{aligned} M_k \omega = & \left(F_T + F_{in} + \frac{M_{cnp}}{r_D} \right) (V_T - V_D) + M_{cnp} \omega (1 - \delta) \\ & + F_{in} V_D + M_{in} \omega + F_T V_D \end{aligned} \quad (2.100)$$

Prawa część równania 2.100 równa jest sumie następujących mocy:

- 1) $(F_T + F_{in} + \frac{M_{cnp}}{r_D})(V_T - V_D)$ – moc zużywana na buksowanie
- 2) $M_{cnp}\omega(1 - \delta)$ – moc zużywana na utworzenie kolejnych i sprężystość opony
- 3) $F_{in}V_D$ – moc energii kinetycznej przenoszonej na ruch postępowy osi koła
- 4) $M_{in}\omega$ – moc energii kinetycznej ruchu obrotowego koła
- 5) F_TV_D – moc przekazywana na korpus ciągnika

Przy ustabilizowaniu ruchu siły inercyjne będą równe zero, a balans mocy można zapisać w postaci:

$$M_k\omega = F_K(V_T - V_D) + M_{cnp}\omega(1 - \delta) + F_TV_D \quad (2.101)$$

gdzie:

$$F_K = F_T + \frac{M_{cnp}}{r_D} \quad (2.102)$$

Stosunek mocy $\frac{F_TV_D}{M_k\omega}$ określa współczynnik wykorzystania mocy na koła η_K (WWM):

$$\eta_K = \frac{F_TV_D}{M_k\omega} \quad (2.103)$$

Przy ustabilizowaniu ruchu $M_k = F_K r_D$

Stąd:

$$\eta_K = \frac{F_TV_D}{F_K r_D} \quad (2.104)$$

Stosunek:

$$\frac{F_T}{F_K} = \eta_{K.cnp} \quad (2.105)$$

jest współczynnikiem wykorzystania mocy, uwzględniającym straty na toczenie się koła w wyniku utworzenia kolejnych, a stosunek:

$$\frac{V_D}{V_T} = \eta_{K\delta} \quad (2.106)$$

jest współczynnikiem wykorzystania mocy przy uwzględnieniu strat na buksowanie. Stąd ogólny współczynnik wykorzystania mocy koła prowadzącego wynosi:

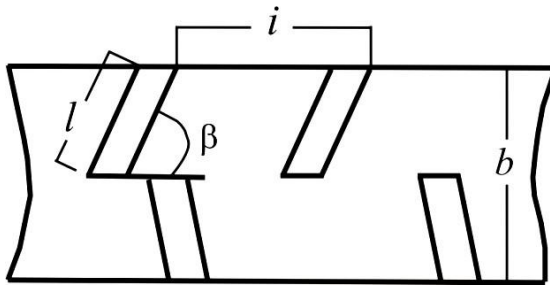
$$\eta_K = \eta_{K.cnp} \cdot \eta_{K\delta} \quad (2.107)$$

Pomiędzy wartością buksowania δ i współczynnika wykorzystania mocy $\eta_{K\delta}$ występuje zależność:

$$\eta_{K\delta} = \frac{V_0}{V_T} = \frac{\omega r_D (1-\delta)}{\omega r_D} = 1 - \delta \quad (2.108)$$

2.9 Wpływ występów na interakcję koła napędowego z glebą

Na rysunku 2.14 przedstawiono typowe rozmieszczenie zaczepów w gruncie dla koła wiodącego. Przy ustabilizowanych warunkach siła styczna uciągu koła F_k równa jest sumie tangensowych reakcji gleby, skierowanych w kierunku ruchu.

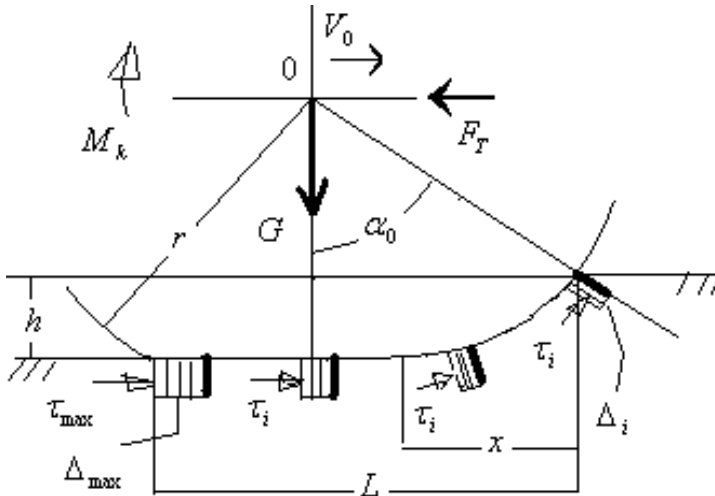


Rys. 2.14. Rozkład punktów zaczepu gruntu na drodze opony

Siły oddziaływania koła wiodącego z glebą można podzielić na następujące:

- tarcie między oporem powierzchni opony a glebą,
- powstającej przy naporze elementów opony na glebę,
- powstające przy skrawaniu słoików ziemi przez boczne punkty zaczepów. Przy ruchu prowadzącego koła zaczepy o grunt poruszając się, skrawają glebę w kierunku odwrotnym do ruchu.

Przy ustabilizowanym ruchu koła przesunięcie i odkrawanie słoików gleby następuje głównie w czasie wyjścia ostatniego zaczepu gruntu z gleby (rys. 2.15). Wszystkie zaczepy gruntu przesuwają się i skrawają glebę na jednakową wielkość Δi . Przy czym pierwsze przesunięcie gleby na odległość Δi , drugie na $2\Delta i$ i trzecie na $3\Delta i$ itd. Jeśli n – liczba zaczepów gruntu w oporowej powierzchni koła z glebą, to w wyniku zaczepienia od wejścia w glebę do wyjścia z niej zaczep glebowy ścina glebę na wielkość $\Delta_{\max} = n\Delta i$.



Rys. 2.15. Oddziaływanie zaczepek gruntu koła elastycznego z glebą

Jeśli $L = r\alpha_0 + \sqrt{2rh}$ to długość powierzchni oporowej koła (rys. 2.15), to największe przesunięcie i skrawanie gleby można także zapisać poprzez współczynnik buksowania w postaci:

$$\Delta_{\max} = \delta L \quad (2.109)$$

Stąd też współczynnik buksowania zapisuje się jako:

$$\delta = \frac{n\Delta_i}{L} \quad (2.110)$$

Sumaryczna deformacja punktów buksowania, na początku zaczepienia równa się zero, a na końcu osiąga wartość $\Delta_{\max} = \delta L$. Siła styczna uciągu koła, niezbędna do przekroczenia przemieszczenia się gruntu:

$$F_{ke} = \int_0^L \tau_k dA = \int_0^L b \tau_k dx \quad (2.111)$$

gdzie:

dA – elementarna powierzchnia oporu koła, równa $dA = b dx$;

b – szerokość zaczepu koła o grunt $b = 2l \sin\beta$; l – długość bocznej krawędzi zaczepu o glebę;

β – kąt charakteryzujący położenie zaczepu gruntu na kole (rys. 2.14);

dx – długość elementarnej powierzchni wzdłuż powierzchni oporowej L .

Ogólna zasada:

$$\tau_k = c_0 + \sigma_k \operatorname{tg} \varphi \quad (2.112)$$

gdzie:

c_0 – współczynnik związania gleby; $\operatorname{tg} \varphi$ – współczynnik tarcia wewnętrznej gleby;

σ_k – normalne naprężenie, działające ze strony koła w strefie oddziaływania naprężeń stycznych.

Można przyjąć, że c_0 , $\operatorname{tg} \varphi$ dla rozpatrywanego stanu są wartościami stałymi, wtedy dla σ_k należy wybrać prawo zmiany normalnego naprężenia ze strony x wzdłuż linii kontaktu:

$$F_{ke} = \int_0^L b \tau_k dx = b c_0 L + b \operatorname{tg} \varphi \int_0^L \sigma_k dx \quad (2.113)$$

W ten sposób, siła styczna uciągu koła będzie zależeć od właściwości gleby, czasu kontaktu koła z glebą, szerokości kontaktu z glebą i normalnego naprężenia w strefie przecinania gleby, które będzie zależało od x . Konkretny rodzaj siły kontaktowej zależy od prawa rozkładu normalnego naprężenia σ_k , która może być określana na podstawie teoretycznych lub eksperymentalnych danych.

Stwierdzono, że im większe obciążenie koła, tym dopuszczalne jest mniejsze buksowanie. W związku z tym, dla cięższych ciągników dopuszczalne buksowanie winno być mniejsze w porównaniu do ciągników lżejszych.

2.10 Określenie równowagi energetycznej pracy kombajnu

Przedstawione powyżej obliczenia teorii toczenia się można wykorzystać do oceny wskaźników energetycznych maszyn rolniczych w procesie oddziaływania na glebę. Na przykład, praca ciągnika i maszyny w najprostszym wariancie charakteryzuje się sumą wskaźników energetycznych:

$$Q = Q_1 + Q_2 \quad (2.114)$$

gdzie:

Q_1 – energia sił, wykorzystanych na proces technologiczny;

Q_2 – energia sił, wykorzystanych na ruch.

Proces technologiczny, na przykład na kombajnie zbożowym, związany jest głównie z urządzeniem młocącym i dlatego zależy od momentu obrotu na wale bębna w urządzeniu młocarni i jego prędkości kątowej:

$$Q_1 = M_b \omega_b \eta \quad (2.115)$$

gdzie:

M_b – moment obrotowy na wale bębna; ω_b – prędkość kątowa bębna;

η – współczynnik uwzględniający straty energii przez organy pracujące kombajnu ($\eta > 1$).

Moc zużywana na przemieszczanie się kombajnu jest równa:

$$Q_2 = (G_k + G_z + G_n + G_t + G_c) V_p^2 \frac{c}{t} \quad (2.116)$$

gdzie:

G_k – masa kombajnu;

G_z – masa ziarna w zbiorniku;

G_n – masa urządzenia i mechanizmów kombajnu do zbioru części roślin poza ziarnem;

G_t – paliwo w kombajnie;

G_c – masa słomy na kombajnie;

V_p – prędkość robocza kombajnu (prędkość poruszania się kół kombajnu);

c – współczynnik tarcia przy toczeniu się koła wiodącego;

t – czas pracy.

Prędkość roboczą kombajnu przedstawić można w postaci:

$$V_p = V_T(1 - \delta) \quad (2.117)$$

gdzie:

V_T – prędkość teoretyczna.

Wtedy wzorem 2.117 określi się moc uwzględniającą buksowania:

$$Q_2 = (G_k + G_z + G_n + G_t + G_c)V_T^2(1 - \delta)^2 \frac{c}{t} \quad (2.118)$$

Równanie balansu wielkości siły oddziaływującej na koło prowadzące kombajnu przy stabilnej prędkości można zapisać w postaci:

$$M_k \omega = F_K(V_T - V_p) + M_{cnp} \omega(1 - \delta) + F_T V_p \quad (2.119)$$

Uwzględniając, że $F_K = \varphi_{cy} G$; $M_{cnp} = Gc$, $G = \dot{G}_k + \dot{G}_z + \dot{G}_n + \dot{G}_t + \dot{G}_c$ – oznaczają pionowe obciążenie na osi koła, które stanowi odpowiednią część od ogólnej sumy mas kombajnu $G_k + G_z + G_n + G_t + G_c$ wtedy równanie:

$$M_k \omega = g(G_k + G_z + G_n + G_t + G_c)[\varphi_{cy}(V_T - V_p) + c\omega(1 - \delta)] + F_T V_p \quad (2.120)$$

gdzie:

g – przyspieszenie ziemskie (9,8 m/s²).

Z 2.120 można określić moment skrętu M_k niezbędny dla przemieszczenia koła w zależności od $G_k, G_z, G_n, G_t, G_c, c, \varphi_{cy}$, φ_{cy} – współczynnik połączenia koła z glebą, δ – współczynnik buksowania, $F_T V_p$ – moc, przekazywana na szkielet koła V_p, V_T .

Współczynnik wykorzystania mocy kół prowadzących kombajnu oblicza się z równania:

$$\eta_K = \frac{F_T V_p}{M_k \omega} = \frac{F_T V_p}{F_k V_T} M_k = F_k r_D \quad (2.121)$$

gdzie: $\frac{F_T}{F_k} = \eta_{K.cnp}$ – współczynnik wykorzystania mocy uwzględniający straty na pokonanie oporu toczenia się, a stosunek $\frac{V_p}{V_T} = \eta_{K\delta}$ to ogólny współczynnik wykorzystania mocy wynosi:

$$F_p = \omega r_D (1 - \delta), V_T = \omega r_D \quad (2.122)$$

$$\eta_K = \eta_{K.cnp} \eta_{K\delta} = \eta_{K.cnp} (1 - \delta) \quad (2.123)$$

2.11 Przejezdność systemu maszyn w terenie rolniczym (oporowa przejezdność ciągników gąsienicowych)

Pod pojęciem przejezdność rozumie się zdolność maszyn do poruszania się po terenie z określona mocą użytkową przy największym objętościowo lub uciążowo współczynniku wykorzystania mocy. Zazwyczaj przejezdność dzieli się na oporową i geometryczną (profilowaną). Przejezdność oporowa określa poruszanie się po gruntach i glebach o małej sile nośnej, to jest po powierzchniach, które podlegają dużemu zagęszczeniu. Przejezdność geometryczna określa możliwość poruszania się po okolicy z różnorodnym profilem (rowy, jamy itd.) Do przejezdności ciągników rolniczych dodatkowo przedstawia się specjalne agrotechnicznym wymagania (przejezdność agrotechniczna), związane z przejezdnością w międzyrzędziach roślin okopowych, krzewów, drzew i pod ich koronami. Ogólne zagadnienia przejezdności związane są z oporami i połączeniowo-uciążowymi cechami ciągnika, wykonywaniem manewrów i konfiguracją przestrzeni między gąsienicami lub między kołami. Cechy oporowe ciągnika gąsienicowego określane są przez trzy wskaźniki:

- 1) średnim naciskiem gąsienic na głębę p_{cp} ;
- 2) współczynnik przemieszczenia środka nacisku w stosunku do środka powierzchni oporowej:

$$v = \frac{X_D}{L} \quad (2.124)$$

gdzie:

L – długość powierzchni oporowej;

X_D – współrzędna przesunięcia środka masy od środka powierzchni oporowej.

Przy $X_D = 0$ rozkład ciśnienia wzdłuż części oporowej ma w przybliżeniu postać symetryczną. Jeśli $X_D \neq 0$ obszar ciśnienia maksymalnego przemieszcza się do przedniej lub tylnej części powierzchni oporowej.

- 3) stosunek średnicy wałka l_0 w odniesieniu do podziałki ogniwa gąsienicy t_G $\left(\frac{l_0}{t_G}\right)$.

Stosunek ten wpływa na wartość ciśnienia pod wałkami. Zwykle stosunek ten u ciągników pracujących na glebach o niskiej zdolności nośnej wynosi 1,7-3,5.

Maksymalne ciśnienie wylicza się według równania:

$$p_{\max} = \frac{p_{cp}L}{L-3X_D} \quad (2.125)$$

Ze wzoru wynika, że wartość maksymalnego ciśnienia zależy od przesunięcia X_D , to jest odległości środka masy od środka powierzchni oporowej. Związek między naprężeniami i absolutnymi deformacjami w glebie pod gąsienicami ciągnika oblicza się według wzoru V.V. Katsygin:

$$\sigma = \sigma_0 th \frac{k}{\sigma_0} h \quad (2.126)$$

Przy maksymalnej głębokości $h - h_{\max}$ uzyskuje się:

$$p_{\max} = \sigma_0 th \frac{k}{\sigma_0} h_{\max} \quad (2.127)$$

gdzie:

σ_0 – graniczna zdolność nośności gleby;

k – współczynnik objętościowego zgniatania gleby;

h_{\max} – głębokość kolein (absolutna deformacja) w glebie.

Stąd maksymalna głębokość kolein z uwzględnieniem wzoru 3,127 jest następująca:

$$h_{\max} = \frac{\sigma_0}{k} \arctg th \frac{p_{\max}}{\sigma_0} = \frac{\sigma_0}{k} \arctg th \frac{p_{cp}}{\sigma_0} \left(\frac{L}{L-3X_D} \right) \quad (2.128)$$

lub:

$$h_{\max} = \frac{\sigma_0}{k} \arctg th \frac{p_{cp}}{\sigma_0} \left(\frac{1}{1-3v} \right) \quad (2.129)$$

gdzie:

$$v = \frac{X_D}{L} \quad (2.130)$$

Oczywiście, że im mniejsza głębokość kolein kół, tym lepsza przejezdność. Dlatego, aby zwiększyć przejezdność należy zmniejszyć średni nacisk gąsienicy na glebę i dążyć do tego, aby normalna reakcja gruntu-gleby rozmieszczona była koło środka powierzchni oporowej, to znaczy X_D powinno dążyć do zera, a w związku z tym $v \rightarrow 0$. Należy podkreślić, że średnie ciśnienie wielu ciągników gąsienicowych wynosi 20-34 kPa. W specjalnych ciągnikach melioracyjnych i poruszających się po bezdrożach waha się w granicach 5–8 kPa. Dla układu sił, przedstawionych na rysunku 2.16 można przedstawić równanie momentów w stosunku do centrum ciśnienia D . Momenty sił F_k (styczna siła uciągu) i F_{cnp} (siła oporu ruchu), ze względu na niską wartość,

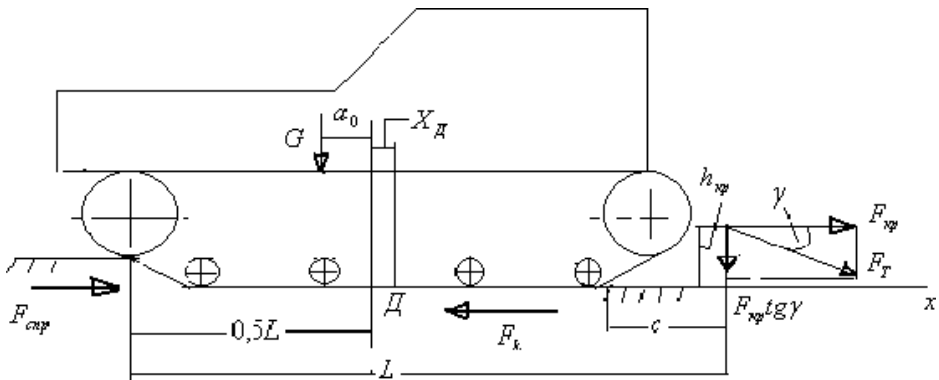
przyjmuje się za zero. Z otrzymanego równania znajduje się współrzędna środka ciśnienia:

$$X_D = \frac{F_{kp}[h_{kp}+(\hat{c}+0,5L)\text{tg}\gamma]-Ga_0}{F_{kp}\text{tg}\gamma+G} \quad (2.131)$$

gdzie:

a_0 – podłużne przesunięcie środka ciężkości w stosunku do środka powierzchni oporowej;

\hat{c} – podłużna współrzędna punktu przyłożenia równoważnego oporowi maszyny w agregacie.



Rys. 2.16. Schemat sił oddziałujących wzdłuż części oporowej napędu:

F_{cnp} – siła przeciwna ruchowi; F_k – siła przyłożenia uciągu;

G – siła ciężaru ciągnika; F_T – opór uciągu agregatu maszyn;

F_{kp} – poziome składowki siły; F_T – wielkość uciągu na haku;

$F_{kp}\text{tg } \gamma$ – składowa pionowa F_T

Obliczy się a_0 dla przypadku $X_D = 0$ to jest dla optymalnego rozłożenia centrum masy

$$a_0 = \frac{F_{kp}[h_{kp}+(\hat{c}+0,5L)\text{tg}\gamma]}{G} \quad (2.132)$$

Dla równomiernego rozłożenia ciśnienia na glebę produkuje się specjalne ciągniki z automatycznym przemieszczeniem środków masy części ciągnika. Tak na przykład, agregat mocy z kabiną przemieszcza się wzdłuż ramy maszyny skierowanej w płaszczyźnie podłużnej w zależności od zmiany właściwości gleby, w ten sposób zapewnia równomierny rozkład ciśnienia na powierzchnię podstawy.

2.12 Przejezdność ciągników kołowych

Przejezdność ciągników kołowych na glebach z niską nośnością można ocenić na podstawie współczynnika rezerwy przejezdności. Rezerwa przejezdności P jest to stosunek siły stycznej uciągu poprzez połączenie z glebą $F_k = \varphi_{cy \max} G$ do do sumy sił oporu $F_{cnp} = fG$ i masy uciągu na haku F_{kp} .

$$\Pi = \frac{F_k}{F_{kp} + F_{cnp}} = \frac{\varphi_{\max} G}{F_{kp} + fG} \quad (2.133)$$

gdzie:

$F_{cy \max}$ – maksymalny współczynnik zaczepienia;

f – współczynnik toczenia.

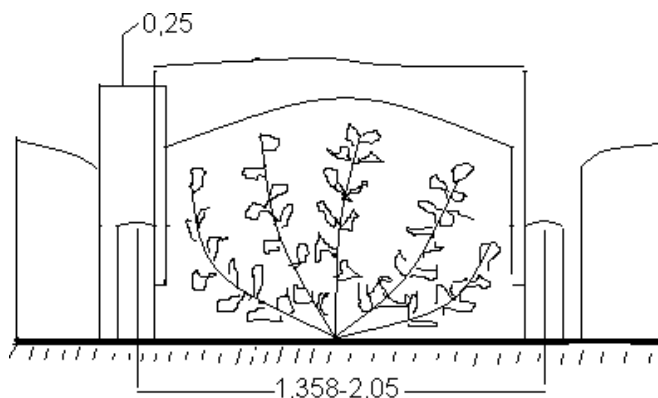
Jeśli $F_{kp} = 0$, istnieje zapas przejezdności na biegu wolnym. Jeśli zapas przejezdności wynosi $P = 1$, to występuje równomierna jazda ciągnika po płaskiej powierzchni z maksymalnym obciążeniem na haku w określonych warunkach agrofizycznych.

2.13 Przejezdność ciągników kołowych

Pod pojęciem przejezdność agrotechniczna rozumie się jako zdolność ciągnika do poruszania się w międzyrzędziach bez uszkodzania roślin, z ekologicznym bezpieczeństwem dla agroekosystemów. Przejezdność w międzyrzędziach określa się konturem przejezdności, a ekologiczne bezpieczeństwo agroekosystemu określa się dopuszczalnym mechanicznym oddziaływaniem na glebę przez maszyny rolnicze.

Kontury przejezdności – część konturu powierzchni ciągnika w przekroju na pionową poprzeczną płaszczyznę, którą ciągnik wpasowuje się między rośliny. Dla przejezdności ciągnika w międzyrzędziach roślin okopowych kontur ma duże znaczenie. Na przykład, dla ciągników w uprawie herbaty zaleca się zarys przejezdności (rys. 2.17), przedstawiający sobą łuk obwodu o promieniu 1 m, rozmieszczonego wypukłością do góry, symetrycznie w stosunku do redliny. Ten kontur odpowiada w przybliżeniu profilowi krzewów herbaty.

Do oceny horyzontalnej przejezdności w międzyrzędziach wykorzystuje się strefy ochronne. Strefa ochronna – jest to odległość horyzontalna od środka rzędu do najbliższych części ciągnika.



Rys. 2.17. Kontur przejezdności ciągnika w uprawie krzewów herbaty

W międzyrzędziach rzędów okopowych możliwe są trzy schematy przejazdu ciągnika:

- 1) nad roślinami przejezdność zależy od wymiaru stref ochronnych i konturu przejezdności,
- 2) między roślinami, kiedy przejezdność zależy od rozmiaru stref ochronnych,
- 3) pod roślinami, w tym przypadku przejezdność zależy głównie od konturu przejezdności.

Pionową przejezdność określa się poprzez pomiar prześwietu agrotechnicznego na płaszczyźnie poziomej: dla ciągnika gąsienicowego uwzględnia się stopień zagłębienia w gruncie, a ciągnika kołowego – na twardej glebie.

Wewnętrzna strefa ochronna (rys. 2.18) określa się według wzoru:

$$y = \frac{(B-b)-s(n-1)}{2} = \frac{(s-b)+(B-sn)}{2} \quad (2.134)$$

Zewnętrzna strefa ochronna:

$$x = \frac{s(n+1)-(B+b)}{2} = \frac{(s-b)+(B-sn)}{2} \quad (2.135)$$

gdzie:

B – szerokość kolein;

b – szerokość ciągnika;

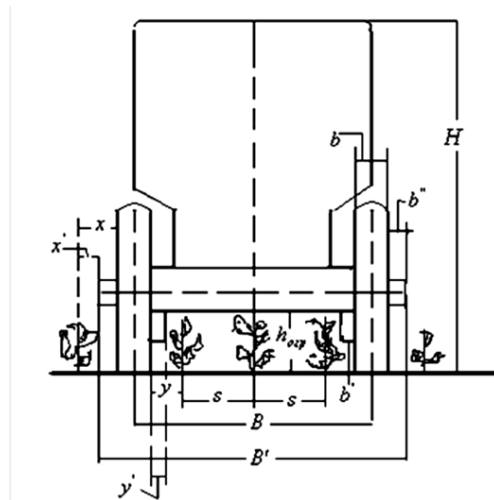
s – szerokość międzyrzędzi;

n – liczba rzędów, mieszcząca się pod ciągnikiem.

Optymalne wymiary stref ochronnych uzyskuje się wtedy, kiedy:

$$x = y = \frac{s-b}{2} \quad (2.136)$$

to jest $B = sn$.



Rys. 2.18. Parametry stref ochronnych dla ciągnika kołowego

W przypadku, kiedy poszczególne części wystają poza kontur ciągnika do wewnątrz to wartość b' lub na zewnątrz na wartość przez b'' . W takich przypadkach strefę ochronną określa się według wzorów:

$$y' = \frac{(s-b)+(B-sn)}{2} - b' \quad (2.137)$$

$$x' = \frac{(s-b)+(B-sn)}{2} - b'' \quad (2.138)$$

Międzyrzędzia zależą od rośliny i przyrodniczo klimatycznych warunków. Często stosowane są następujące wartości międzyrzędzi: buraki cukrowe, proso – 0,45-0,60 m; ziemniaki, kukurydza, słonecznik – 0,60-0,70 m.

Ponieważ ciągniki stosowane do obróbki międzyrzędzi są o różnych wymiarach, dlatego przewidziano następujące sposoby zmiany rozmiarów kolein:

- zmiana kół według pólności;
- przestawienie kół ich niesymetrycznej konstrukcji;
- zmianę położenia obwodu w stosunku do piasty;
- rozszerzenie rękawa mostka.

Celem zwiększenia zakresu zmian kolein kół tylnych, w większości ciągników, stosowane są równocześnie dwa lub trzy wymienione sposoby.

Rośliny okopowe, nad rzędami, po których przejeżdża ciągnik, można podzielić na nisko i wysokołodygowe. W mniejszym stopniu rozpatruje się najwyższą wysokość, przy której prowadzi się ostatnią obróbkę międzyrzędzi. Prześwit agrotechniczny powinien być rozliczony na wielokrotny przejazd ciągnika nad roślinami, bez ich uszkodzenia. Do obróbki roślin niskołodygowych stosuje się ciągniki z prześwitem 0,4-0,5 m, a dla wysokołodygowych – ciągniki z prześwitem 0,8-1,0 m i więcej. Przy uprawie roślin, których wysokość sięga 2 m, stosuje się bramowe traktory gąsienicowe, w których podnośniki prawo i lewostronnej burty połączone są łukiem, a każdy ma swój podnośnik. Prześwit agrotechniczny tych ciągników dochodzi do 2 m lub więcej.

2.14 Wybrane metody oceny agrotechnicznej przejezdności

Do rozpatrzenia praktycznych sposobów określenia niektórych podstawowych parametrów uciążowych i ekologiczno-bezpiecznych agrotechnicznych właściwości oddziaływania narzędzi z glebą, jako przyjęto następujące wskaźniki: h – głębokość śladu, $\Delta\rho$ – zmiana gęstości gleby, η_k – współczynnik wykorzystania energii przez narzędzia, f – współczynnik oporu ruchu, k_φ – współczynnik wykorzystania przyłączonej masy agregata.

Stopień uszkodzenia roślin określa się metodą nakładania ramy, której szerokość jest równa szerokości pracy maszyny, a długość 0,5 m. Ramę kładzie się na powierzchni pola i na jej powierzchni podlicza się ogólną liczbę roślin i liczbę roślin, które zostały uszkodzone. Jeśli H_{OB} – liczba uszkodzonych roślin, H_{OBC} – ogólna liczba roślin przed przejściem maszyny, wtedy stopień uszkodzenia roślin wyniesie:

$$y = \frac{H_{O\delta}}{H_{O\delta c}} \quad (2.139)$$

Pomiary stopnia uszkodzenia roślin należy wykonać z trzykrotnym powtórzeniem przy każdej prędkości roboczej jednostki agregatu.

Głębokość śladu lub absolutną deformację gleby pod agregatem oblicza się według wzoru:

$$h = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m h_{ij}}{nm} \quad (2.140)$$

gdzie:

h_{ij} – wartość j -tego pomiaru głębokości śladu w i -tym przekroju w m ;

n – liczba przekrojów wzdłuż śladu;

m – liczba pomiarów koordynat w i -tym odcinku.

Wzrost zagęszczenia gleby w różnych słojach pod wpływem maszyny określa się według wzoru:

$$\Delta p_i = p_{ki} - p_{0i} \quad (2.141)$$

gdzie:

p_{ki} – gęstość gleby w i -tym słoju śladu maszyny g/cm^3 ;

p_{0i} – gęstość gleby w i -tym słoju poza śladem maszyny g/cm^2 .

Jeśli znana jest deformacja względna gleby ε danej skiby, to do określenia gęstości ρ po przejściu maszyny można zastosować wzór:

$$p = \frac{p_0}{1-\varepsilon} \quad (2.142)$$

gdzie:

p_0 – gęstość gleby danej „skiby” przed przejazdem maszyny.

Uwzględniając, że zagęszczenie gleby przez niektóre maszyny dochodzi do głębokości jednego metra, gęstość gleby określa zwykle określa się do głębokości 0,3-0,4 m i głębiej, rozbijając je na 5-centymetrowe słoje.

Współczynnik oporu toczenia określa się przy przejeździe na luzie według wzoru:

$$f = \frac{\sum \frac{M_k}{Y_k}}{g m_E} \quad (2.143)$$

gdzie:

M_k – moment oporu toczenia, mierzony na kole prowadzącym ciągnika w Nm;

Y_k – promień roboczy koła napędowego w m; m_E – masa eksploatacyjna maszyny w kg;

g – przyspieszenie ziemskie ($g = 9,8 \text{ m/s}^2$).

Jeśli znana jest siła oporu toczenia agregatu $F_f = \sum \frac{M_k}{Y_k}$, wtedy współczynnik oporu toczenia wylicza się według wzoru:

$$f = \frac{F_f}{q m_E} \quad (2.144)$$

Współczynnik wykorzystania połączonej masy φ_k określa się w procesie technologicznym przy przejeździe ciągnika z agregatem uprawowym z obciążeniem uciągu, kiedy moment pracujących urządzeń mierzy się bezpośrednio:

$$\varphi_k = \frac{F_k}{q m_c} \quad (2.145)$$

gdzie:

$q m_c$ – przyłączona masa agregatu uprawowego, kg;

F_k – przyłożona siła uciągu.

Buksowanie urządzenia napędowego oblicza się z równania:

$$\delta = \left(1 - \frac{n'_{kx} + n''_{kx}}{n'_{kp} + n''_{kp}} \frac{n_{sx}}{n_{sp}} \right) 100\% \quad (2.146)$$

gdzie:

$n'_{kx}, n''_{kx}, n'_{kp}, n''_{kp}$ – liczba obrotów prawego i lewego koła napędowego na reżimie pracy na luzie (indeks x) i obciążeniem (indeks p);

n_{sx}, n_{sp} – liczba obrotów z użyciem koła pomiarowego, odpowiednio, na luzie i w reżimie pracy z obciążeniem.

Współczynnik wykorzystania mocy napędu kół, uwzględniający przebuksowanie, oblicza się według wzoru:

$$\eta_k = \left(1 - \frac{F_f}{F_k} \right) (1 - \delta) = \frac{F_k}{M_k} Y_k (1 - \delta) \quad (2.147)$$

gdzie:

F_{kp} – wzmożony uciąg.

W przypadku ciągnika gąsienicowego współczynnik sprawności określa się zgodnie z wzorem:

$$\eta_k = \left(1 - \frac{F_f}{F_k} \right) (1 - \delta) \eta_G = \frac{F_{kp}}{M_k} Y_k (1 - \delta) \eta_G \quad (2.148)$$

gdzie:

η_G – współczynnik sprawności, z uwzględnieniem strat ciągnika gąsienicowego.

Często przy ocenie uciążu stosuje się współczynnik rezerwy uciążu:

$$K_3 = \varphi \frac{m_c}{m_E} - f = \varphi k_\varphi - f \quad (2.149)$$

$$\varphi = \frac{F_{kmax}}{q m_c}, \quad (2.150)$$

gdzie:

F_{kmax} – maksymalna wartość siły stycznej uciążu;

φ – współczynnik złączenia elementu poruszającego się z glebą;

$q m_c$ – współczynnik załączonej masy.

Wskaźnik efektywności blokady mechanizmu różnicującego określa się według wzoru:

$$\Xi_{bl} = \frac{1 - \delta_{bl}}{1 - \delta} \quad (2.151)$$

gdzie:

δ_{bl} – wartość buksowania ciągnika z zablokowanym mechanizmem różnicowym;

δ – wskaźnik buksowania przy pracy z wyłączonym mechanizmem różnicowym w tych samych warunkach glebowych i klimatycznych.

Ocena przejezdności agrotechnicznej obejmuje także wydajność MTA:

$$W = 0,36 b_p V_p \quad [\text{ha/h}] \quad (2.152)$$

gdzie:

b_p – średnia szerokości agregatu w m;

V_p – robocza prędkość agregatu w m/s.

W tych samych warunkach glebowych wydajność agregatu zależy od szerokości obróbki i prędkości ciągnika MTA. Maksymalna wydajność odpowiada maksymalnej prędkości. Straty wydajności pracy określa się ze wzoru:

$$\Delta W = \left(1 - \frac{W}{W_{\max}}\right) 100\% \quad (2.153)$$

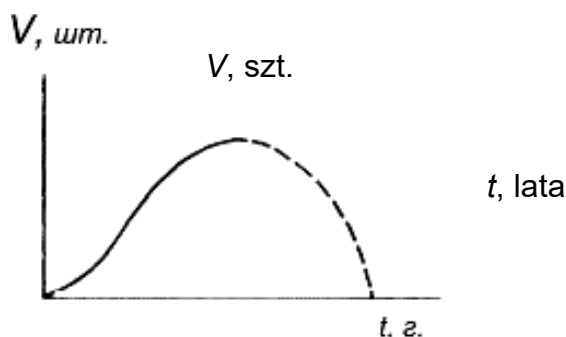
3. METODY KSZTAŁTOWANIA SYSTEMU MASZYN

3.1. Związek między organizacją środowiska i maszyną

Każda maszyna ma swój cykl i okres użytkowania, które zależą od technologii i właściwości fizycznych środowiska, w którym maszyna pracuje. Cykl to jest mierzalna długość „życia” maszyny rolniczej, która zgodnie z jej konstrukcją, przeznaczona jest dla określonej technologii produkcji lub kilku technologii, z uwzględnieniem warunków klimatycznych i właściwości agrofizycznych środowiska pracy.

Okres – jest to odcinek czasu wykonywania przez maszynę (ciągnik) tej lub innej technologii (jak orka, siew i inne) powtarzalnych czynności w określonych odstępach czasu. Równocześnie z cyklem użytkowania środków produkcji, istnieje cykl wytwarzania produkcji, eksploatacji wyposażenia, przetwarzania materiałów wyjściowych na półfabrykaty i gotowe produkty. W produkcji zazwyczaj wydziela się długość cyklu produkcyjnego technologicznych procesów i operacji.

Z reguły za cykl życia maszyny w produkcji, zachodzi narastanie wydajności do wartości produkcji maksymalnej V_{szt} . Następuje poziom wydajności stabilizuje się w ciągu długiego okresu czasu t_g i w końcu następuje spadek wydajności produkcji, aż do całkowitego zaprzestania (rys. 3.1). Proporcjonalnie do tempa wzrostu wydajności zmieniają się parametry maszyny, ilość zużywanych materiałów, charakterystyka techniczna i nakłady na produkcję.

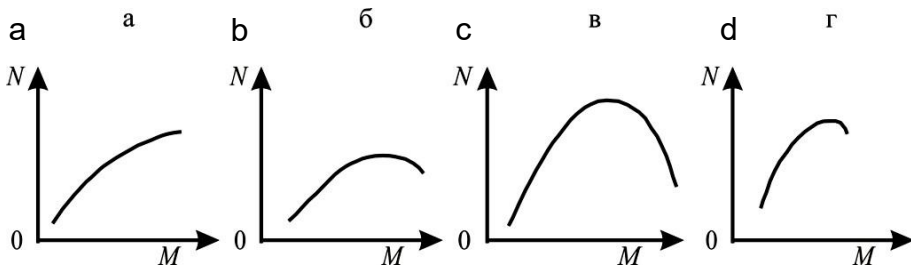


Rys. 3.1. Ilość wyprodukowanych towarów w zależności od czasu;
 V_{szt} – ilość towarów w sztukach, t – czas w latach

Cykl życia maszyny jest ściśle związany z ekonomią produkcji. Cykle ekonomiczne życia maszyn wpływają istotnie na organizację środowiska. W ekonomice produkcji, równocześnie z cyklami życia nowych produktów przemysłowych rozpatruje się cykle życia korporacji przemysłowych, które spełniają cztery podstawowe funkcje: finansową, marketingową, produkcyjną i kierowniczą. Dzięki stosowaniu teorii cyklu życia korporacji przemysłowych prognozuje się długoterminowy ich rozwój.

Rozwój i opracowanie nowych technologii produkcji powinno uwzględniać parametry cyklu i okresy życia maszyn. Proces oddziaływania środowiska zewnętrznego na funkcjonowanie maszyn następuje nieprzerwanie, dyskretnie lub cyklicznie. W tym też czasie praca maszyny w konkretnym środowisku (pole, droga) następuje według własnych wewnętrznych cykli. Cykle wewnętrzne mają ogólne prawidłowości. Znane są cykle Karno w silnikach wewnętrznego spalania, elektromagnetyczne przejściowe i stabilne procesy silnikach elektrycznych, cykliczność operacji obliczeniowych.

Charakterystyka mechaniczna silników posiada dość szeroki zakres zmian prędkości i mocy N na wale silnika w zależności od momentu obciążenia M (rys. 3.2). W ustabilizowanych warunkach cykl wewnętrzny życia maszyn w ogólnej postaci można scharakteryzować trzema fazami: wchodzącą, stabilną i spadającą.



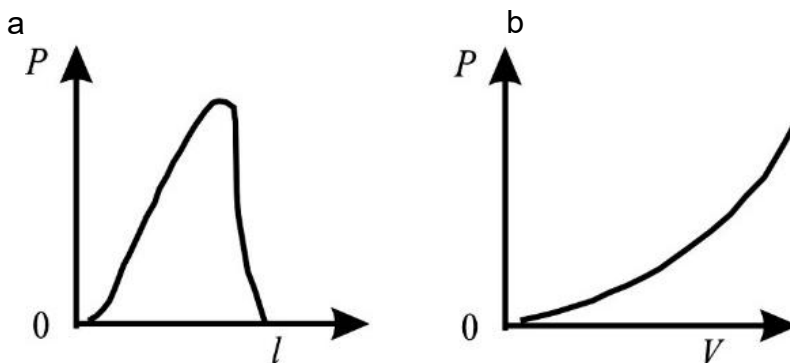
Rys. 3.2. Charakterystyki mechaniczne wewnętrznego cyklu maszyn:
a) silnik elektryczny prądu stałego z kolejnym uzwojeniem pobudzenia;
b) asynchroniczny na krótko spięty silnik ze zwiększonym poślizgiem;
c) parowy silnik tłokowy; d – silnik tłokowy wewnętrznego spalania

Środowiskami pracy, w których następuje funkcja wykonywania czynności przez maszyny, są warunki technologiczne, organizacyjne i przyrodnicze. W tych warunkach to na maszyny działają siły oporu, które mogą mieć

zarówno pożyteczny jak i niekorzystny wpływ. Związek pomiędzy parametrami oddziaływania maszyny i środowiska dość często mają kształt paraboli lub wykładniczą. Na przykład na rysunku 3.3 przedstawiono wykresy zmian: 1) siła rozdrabniania kruszyw przez kruszarkę szczękową w zależności od przemieszczania płyty rozdrabniającej (rys. 3.3a); 2) siły oporu ruchu ciał w płynie w zależności od prędkości ruchu ciała, prędkości ruchu śruby statku w różnych warunkach (rys. 3.3b).

Maszyny współdziałające ze środowiskiem przetwarzają środowisko w różne stany (fazy). Na przykład, przy zagęszczaniu glebo-gruntów w pierwszej fazie następuje zagęszczenie w wyniku zmniejszenia porów, w drugiej fazie – powstaje stabilny masyw równomiernie sprężysty, zanikają wahania wielkości cząstek i w końcu w trzeciej fazie następuje ostateczna deformacja.

Pierwsza faza środowiska może być opisana modelami procesów dyfuzji, druga modelami procesów falowych, a trzecia modelami deformacji końcowej powstającej w środowisku. W trzeciej fazie, w przypadku gleb, należy przewidzieć środki zarządzania, związane z wyborem środków technicznych, odpowiadających technologiom oszczędzającym glebę.



Rys. 3.3. Zależności:

- a) siła P rozdrabniania kruszyw przez kruszarkę szczękową w zależności od przemieszczania się l płyty kruszącej,
 b) siły P oporu ruchu ciał w płynie w zależności od prędkości ruchu V

Racjonalny wybór systemu maszyn opiera się na ich cyklach i okresach, wprowadzaniem automatyzacji, doskonaleniu mechanizmów koordynacji, zarządzaniem i organizacją pracy i ekologicznym bezpieczeństwem środowiskowym środowiska.

Utworzenie systemu maszyn opiera się określonych koncepcjach. Przedstawiamy niektóre z nich:

- 1) system maszyn powinien być rozpatrywany jako proces wzajemnego dostosowania techniki, personelu i środowiska eksploatacji w procesie wykonywania współczesnych technologii;
- 2) system maszyn przewiduje zwiększenie efektywności produkcji;
- 3) system maszyn powinien uwzględniać elementy energetyki, informatyki, konstrukcji i ekologiczne aktualnego środowiska eksploatacji;
- 4) system maszyn powinien funkcjonować w warunkach przestrzegania określonego stosunku pomiędzy poziomem organizacji środowiska (np. zachowania stałych kolein celem zabezpieczenia i poprawy urodzajności gleby) oraz konstrukcyjno-funkcjonalne wydajności maszyn (w szczególności z uwzględnieniem ekologicznego bezpieczeństwa oddziaływania na glebę).

Współdziałanie systemu maszyn ze środowiskiem realizuje się w wyniku dwóch procesów: energetycznego i informacyjnego.

Wartość energii W jest mierzony się jako suma wszystkich rodzajów energii:

$$W = \sum_{i=0}^N W_i \quad (3.1)$$

gdzie:

i – rodzaj energii;

N – liczba rodzajów energii;

W_i , – wartość i -tego rodzaju energii.

Organizacja pracy systemu maszyn związana jest z formami zarządzania na podstawie źródeł informacji. Sumę źródeł informacji można przedstawić jako sumę źródeł:

$$I = \sum_{j=0}^m J_j \quad (3.2)$$

gdzie:

I – rodzaj informacji;

m – liczba rodzajów informacji występujących w systemie;

J_j – liczba informacji j -tego rodzaju ($j = 0, m$).

Zmianę informacji ΔJ_t można przedstawić jako funkcję wykonanego zakresu prac od \bar{V}_0 do \bar{V}_t w określonym przedziale czasowym:

$$\Delta J_t = b(\ln \bar{V}_0 - \ln \bar{V}_t) = b \ln \left(\frac{\bar{V}_0}{\bar{V}_t} \right) \quad (3.3)$$

gdzie:

b – pewna stała;

J – zaznaczenie wartości czasu.

Systemy maszyn zazwyczaj funkcjonują w odkrytych lub zakrytych naturalnych lub sztucznych ekosystemach. Na przykład w rolnictwie w systemie produkcji systemem otwartym mogą być gleby lub krajobrazy. Zmiana entropii takiego systemu wyraża się sumą entropii, wytworzonej wewnątrz systemu $d\varepsilon_i$ i entropii uzyskanej z zewnątrz lub przechodzącej na zewnątrz $d\varepsilon_e$:

$$d\varepsilon = d\varepsilon_i + d\varepsilon_e \quad (3.4)$$

Wartość $d\varepsilon_i$ wytwarzana jest w wyniku wewnętrznych reakcji chemicznych i fizycznych, jest ona dodatnia przy braku oddziaływania od zewnątrz. Jeśli $d\varepsilon_e = 0$, to entropia w glebie może tylko wzrastać. Znak $d\varepsilon_e$ zależy od konkretnych warunków wpływających na system otwarty. W przypadku stacjonarnym $d\varepsilon_e = 0$ i stąd:

$$d\varepsilon_e = -d\varepsilon_i < 0 \quad (3.5)$$

Ogólne zmiany entropii w środowisku izolowanym, zgodnie z drugim prawem termodynamiki jest dodatnie, to jest:

$$d\varepsilon = d\varepsilon_1 + d\varepsilon_2 > 0 \quad (3.6)$$

gdzie:

$d\varepsilon_1$ – zmiana entropii ciągnika;

$d\varepsilon_2$ – zmiana entropii pola.

Jest oczywistym, że model izolowanego systemu „ciągnik – pole” posiada bardzo przybliżony charakter. Oprócz tego każde z rozpatrywanych ciał można uważać jako system izolowany, składający się z obiektu biologicznego i środowiska. Na przykład „kierowca ciągnika – kabina ciągnika”, „dżdżownica – gleba”.

Wiadomym jest, że entropia zależy od źródeł informacji:

$$\varepsilon = -k \sum_j p_j \ln p_j \quad (3.7)$$

lub:

$$\varepsilon = -kJ \quad (J = \sum_j p_j \ln p_j) \quad (3.7a)$$

gdzie:

k – stała Boltzmana;

p – prawdopodobieństwo pojawienia się j -tego rodzaju informacja.

Entropia systemu maszyn zależy od jej cyklu i odpowiada warunkom:

$$0 < \frac{d\varepsilon}{dt} < a \quad \text{przy} \quad 0 \leq t \leq t_{e\dot{z}}$$

gdzie:

$d\varepsilon$ – zmiana entropii;

d_t – zmiana cyklu;

a – określona stała;

$t_{e\dot{z}}$ – cykl życia zestawu technologicznego maszyn.

Jeśli głębę rozpatrywać jako obiekt biologiczny, który zawiera mikrobio-
cenozę, zoocenozę i fitocenozę wtedy entropię żywych organizmów będzie
można przedstawić w poniższych równaniach:

$$\frac{d\varepsilon}{dt} \leq 0 \quad \text{przy} \quad 0 < t < t_p; \quad \frac{d\varepsilon}{dt} = 0 \quad \text{przy} \quad t_p < t < t_z$$

$$\frac{d\varepsilon}{dt} < a \quad \text{przy} \quad t_z < t < t_{e\dot{z}};$$

$$\frac{d\varepsilon}{dt} > a \quad \text{przy} \quad t > t_{e\dot{z}}$$

($t_{e\dot{z}}$ – cykl życia systemu biologicznego)

gdzie:

t_p – czas wzrostu;

t_z – czas dojrzałości.

Entropię wykorzystuje się do oceny trzech jej ilościowych wskaźników: efektywności, złożoności i możliwości organizacyjnych. Entropijne wyobrażenia o systemie pozwalają na rozpatrywanie jej efektywności z punktu widzenia uporządkowania. Wraz ze wzrostem entropii rośnie brak uporządkowania systemu, co prowadzi do zmniejszenia efektywności jej funkcjonowania i braku stabilności.

Entropia i efektywność produkcji E połączone są zależnością:

$$\frac{dE}{dt} = \frac{d\varepsilon}{dt} \tag{3.8}$$

Proponuje się także prowadzić ocenę efektywności w postaci:

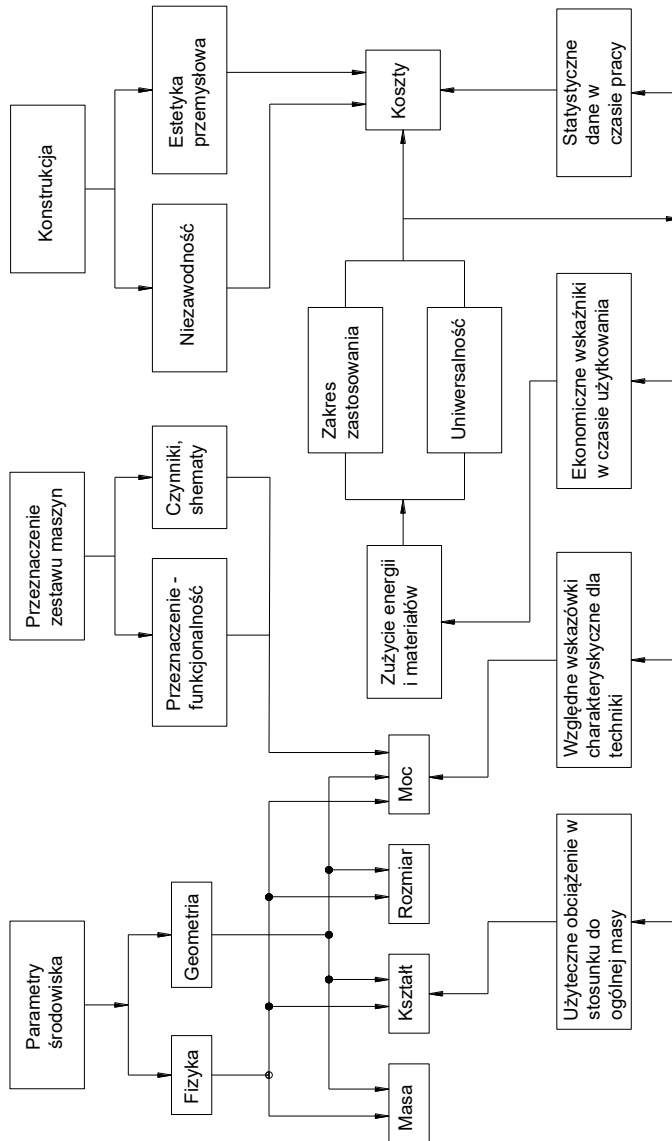
$$E = E_{\max}[1 - f(B)] \tag{3.9}$$

gdzie:

E_{\max} – efektywność idealna pracującego kompleksu;

$f(B)$ – pewna funkcja parametrów entropii i informacji.

Maszyny projektuje się w dwóch kierunkach. Pierwszy kierunek związany jest z wymaganiami do systemu maszyn, a drugi ze środowiskiem, w którym planowane jest użytkowanie maszyn. Na rysunku 3.4 przedstawiony jest ogólny schemat zestawienia koncepcji maszyn na podstawie uwzględnienia procesów współdziałania pomiędzy podstawowymi klasyfikacyjnymi cechami.



Rys. 3.4. Schemat tworzenia koncepcji maszyn

Jak widać na schemacie to środowisko wpływa na wskaźniki techniczne maszyny (masa, kształt, wymiary, moc). Schemat kończy się oceną efektywności i celowości, tj. kosztem. Systemowe podejście do określenia funkcjonalnej roli nowoczesnej maszyny zwiększa także jej cykl życia.

Technologie rolnicze stawiają określone wymagania pod względem parametrów maszyny (prędkość, przejezdność, zapewnienie manewrów) oraz także w stosunku do środowiska, jak np. agrotechnicznego stanu gleby. Warunki organizacyjne ocenia się poziomem informacji. Sprecyzowano stosunek pomiędzy poziomem informacji i stopniem złożoności operacji technologicznych wykonywanych przez maszynę:

$$IK_T = \text{const.} \quad (3.10)$$

gdzie:

I – poziom informacji o strukturalnej lub konfiguracyjnej;

K_T – parametr charakteryzujący poziom techniczny maszyny przeznaczonej do wykonania danej technologii.

Z tego stosunku wynika, że wraz ze wzrostem informacji (poprawia się poziomu organizacji środowiska) technologia wykonywana przez maszynę zmniejsza się i odwrotnie.

Rozpatrzone zostaną dwa skrajne przypadki. Jeśli w środowisku $I \rightarrow 0$, to wtedy praktycznie nie występuje organizacja środowiska, wtedy udoskonalenia techniczne występują tylko w maszynie. W tym przypadku występuje $K_T \rightarrow \infty$. Ten przypadek związany jest z nieskończonym doskonaleniem maszyny, która mogłaby wykonać dowolną skomplikowaną pracę technologiczną. Jeśli $I \rightarrow \infty$ wtedy $K_T \rightarrow 0$, co oznacza, że faktycznie brak jest technologii maszyn oraz informacja całkowicie dotyczy organizacji środowiska.

W praktyce skrajne przypadki mogą mieć charakter katastroficznego, szczególnie odnosi się to do ekologii. Dlatego powinna być zachowana określona równowaga między środowiskiem a maszyną. Innymi słowy, należy stale poszukiwać kompromisu między wyprodukowaniem maszyny z dużymi możliwościami do adaptacji. Na przykład, aby rozwiązać szybkie dostarczenie zboża z pola do magazynu drogą przechodząca przez miejscowość rozwiązanie może być dwojakie. Albo poprawić drogę lub korzystać ze środka

transportu dostosowanego do bezdroży. Jednak rozwiązanie kompromisowe jest racjonalne.

3.2. Wybór podstawowych parametrów środków technicznych w systemie maszyn

Środowisko rolnicze, w tym szczególnie gleba, posiadają wiele cech fizycznych, które stale się zmieniają. Różnorodność cech środowiska rolniczego, różnorodność maszyn rolniczych i ciągników, a także sposobów ich stosowania w różnych technologiach nie pozwalają na stosowanie jednolitych wskaźników jakościowych i energetycznych. Brak jest stałej funkcjonalnej zależności, która pozwalałaby na jednoznaczną odpowiedź odnośnie wyboru optymalnych parametrów układów maszyn, który by zapewnił z jednej strony poziom wydajności, a z drugiej zachowanie pejzażu rolniczego. Dlatego wymagania jakościowe w stosunku do maszyny mogą być całkowicie odpowiednie w jednej technologii, natomiast w innych pracach mogą być tylko częściowo spełnione.

Przy obliczaniu optymalnych nakładów energetycznych należy uwzględnić względną energochłonność procesu, który wykonywany jest przy zachowaniu wybranych parametrów pracy maszyny na właściwym poziomie.

Zazwyczaj parametry pracy maszyny ocenia się na podstawie czterech, niezależnych kryteriów. Są nimi wskaźniki: energetyczny E , produkcyjny P , pracy Pr i kosztowy K . W każdym konkretnym przypadku będzie tyle konkretnych optymalnych rozwiązań, ile niezależnych kryteriów przyjęto przy wyborze parametrów maszyny należy podejść kompleksowo, uwzględniając optymalne wartości dla każdego wskaźnika. Dla przykładu dokonano oceny dwóch wskaźników – szerokość robocza B i prędkość jazdy V . Dla każdego z czterech kryteriów E, P, Pr, K określa się te parametry, które będą różne:

$$B_E \neq B_P \neq B_{Pr} \neq B_K \quad \text{i} \quad V_E \neq V_P \neq V_{Pr} \neq V_K$$

W każdym konkretnym przypadku będzie tyle rozwiązań, ile niezależnych kryteriów przyjęto przy wyborze wskaźników.

Zakładając optymalne parametry B_0 i V_0 dla danej maszyny określa się z warunków maksymalnego spełnienia n wymagań (liczba ocenianych parametrów równa się n). W tym przypadku można osiągnąć rozwiązanie w postaci sumy n liczby połączeń parametrów maszyny $B_i V_i$ ($i = 1, 2, \dots, n$), z których każde odpowiada szczegółowym warunkom.

Ogólne optymalne rozwiązanie, to jest określenie B_0 i V_0 , zależy od uwzględnienia wagi każdego wziętego oddzielnie wymagania w porównaniu z pozostałymi. Przy czym możliwe są następujące przypadki:

1. Jeden ze wskaźników, np. obniżenie kosztów pracy K , posiada dla danego procesu w porównaniu z innymi kryteriami tak duże znaczenie, że pozostałe można pominąć. W danym przypadku ogólne optymalne parametry będą zgodne ze szczególnymi wartościami, znalezionymi według kryterium K .
2. Znaczenie każdego oddzielnie wziętego wskaźnika jest bagatelnie małe w porównaniu z sumą wartości wszystkich wskaźników łącznie.

Jeśli przy wyborze ogólnych optymalnych parametrów jest istotnie ważne, aby uwzględnić znaczenie każdego z kryteriów, to koniecznym jest ustalić ich „wartość względną”, to jest doprowadzić do ich porównywalności. Zakładając, że każdy z kryteriów ocenia się według czterostopniowej klasy wtedy otrzymuje się E_i, P_i, Pr_i, K_i ($i = 1, 2, 3, 4$).

Zakładając, że parametry B_1, V_1 odpowiada minimum zużycia energii – E_1 , parametry B_2, V_2 maksymalnej wydajności – P_2 , parametrom B_3, V_3 minimalne nakłady pracy Pr_3 a parametrom B_4, V_4 – minimalna wartość pracy K_3 .

Przy braku technicznych i agrotechnicznych ograniczeń najlepszym rozwiązaniem jest to, które odpowiada minimalnej wartości pracy K_3 . Jednak pod tym warunkiem maszyna może mieć tak niską wydajność P (wymóg taniej maszyny), że dla wykonania prac konieczne będzie wydłużenie czasu, co spowoduje obniżenie plonów, lub zwiększyć w gospodarstwie park maszynowy i specjalistycznych ciągników, wykorzystanie których jest nieopłacalne przy innych pracach.

Analogiczna zależność występuje także w pozostałych kryteriach. Na przykład minimalny nakład pracy może spowodować wzrost wartości prac, a obniżenie zużycie energii przez maszynę przy odpowiedniej wydajności pogorszy jakość uprawy, a tym samym spowoduje spadek plonów.

Zakładając, że dla określonego procesu można ustalić ekwiwalentne zależności pomiędzy kryteriami, to jest znaleźć przejściowe współczynniki k_1, k_2, k_3, k_4 , zastosowanie których jako odpowiadające kryteriom spowoduje efektywność D_i ($i = 1, 2, 3, 4$), pozwoli wyrażenie w postaci ekwiwalentu pieniężnego lub energetycznego. Optymalne parametry w tym przypadku określa się według stosunku:

$$B_0 = \frac{\sum_{i=1}^4 D_i B_i}{\sum_{i=1}^4 D_i} ; \quad V_0 = \frac{\sum_{i=1}^4 D_i V_i}{\sum_{i=1}^4 D_i} \quad (3.11)$$

gdzie: $D_1 = k_1 E$; $D_2 = k_2 P_2$; $D_3 = k_3 T_3$; $D_4 = k_4 C_4$.

Jeśli brak danych, niezbędnych do porównania stopnia ważności każdego wymagania oddzielnie, to określenie ogólnego optymalnego rozwiązania staje się niemożliwe. Można jedynie stwierdzić, że punkt odpowiadający ogólnemu optymalnemu rozwiązaniu, znajduje się w przedziale wypukłego wielokąta, którego wierzchołek kąta odpowiada poszczególnym optymalnym rozwiązaniom.

Wybór parametrów maszyny ograniczy się do technicznych i technologicznych wartości. Tak na przykład zwiększenie prędkości roboczych do optymalnych wartości ogranicza się w wyniku gwałtownego pogorszenia warunków pracy traktorzysty. Powstające wibracje przy jeździe maszyn z dużą prędkością po nierównej powierzchni pola, pogarszają długość użytkowania i zwiększają gęstość gleby. Oprócz tego, nie raz zmniejsza się ilość i jakość wykonanych prac polowych. Zwiększenie szerokości roboczej maszyny może być ograniczone ze względu na pogorszenie jakości pracy, a także jej wytrzymałością. W ten sposób zwiększenie prędkości roboczej i szerokości roboczej maszyny nie można rozpatrywać jako czysto ilościowy proces. Zwiększenie prędkości roboczej wymaga zmian jakościowych elementów roboczych maszyny, wprowadzenia elementów automatycznego sterowania, regulacji i kontroli pracy.

Na wybór parametrów maszyn rolniczych mają wpływ konfiguracja i wielkość pola, rozmiar prac oraz terminy agrotechniczne. W związku z tym, znaczenie tych czynników dla każdej strefy glebowo-klimatycznej mają różny

zakres i dlatego w rolnictwie trzeba teoretycznie rozwiązywać zadanie optymalnego uzgodnienia parametrów i ilościowego stosunku różnych maszyn o jednakowym przeznaczeniu, z uwzględnieniem do pracy w danych warunkach glebowo-klimatycznych i produkcyjnych. Przy czym kryteria efektywności konkretnej maszyny mogą być bardzo różnorodne, co jest pochodną tak procesu technologicznego (jakość, terminy agrotechniczne), jak i deficytu tego lub innego środka produkcji (zużycie metalu, zużycie energii, nakłady pracy i inne).

Przy takim podejściu waga nakładów materiałowo-energetycznych charakteryzuje ich deficyt, a także inne wskaźniki eksploatacyjne – stopień postępu osiągniętego przy ich wytworzeniu oraz przy eksploatacji w rolnictwie.

Optymalna szerokość robocza narzędzi i prędkość robocza mogą być przedstawione w postaci średnich geometrycznych wartości poszczególnych kryteriów:

$$B_0 = \sqrt[\sum_{i=1}^n \beta_i]{P_{i=1}^n B_{0i}^{\beta_i}}; \quad V_0 = \sqrt[\sum_{i=1}^n \beta_i]{P_{i=1}^n V_{0i}^{\beta_i}} \quad (3.12)$$

gdzie:

B_{0i}, V_{0i} – wartość optymalna według i -tego kryterium dotycząca szerokości roboczej i prędkości jazdy agregatów; n – liczba uwzględnianych poszczególnych kryteriów; β_i – współczynniki równoważności.

3.3. Podsumowanie

W powyższym opracowaniu, pierwsza część poświęcona jest metodologii teorii działania maszyn rolniczych z uwzględnieniem właściwości środowiska, którym jest głównie gleba. Podana charakterystyka gleby dla różnych rejonów pozwala na odpowiednie modelowanie i kontrolowanie konstrukcji maszyn, a także wyznaczenie parametrów charakterystyki pracy maszyn i urządzeń z uwzględnieniem warunków glebowych.

Ponadto zaprezentowane w I części teorie zjawisk agrofizycznych zachodzących w glebie i pomiędzy glebą i roślinami, a środkami technicznymi opisane modelami matematycznymi wzajemnych relacji.

W pierwszej części przedstawiona metodologia teorii procesów technologiczno-ekonomicznych oparta jest na analizie modeli wspomagających dobór

technologii uwzględniających zagadnienia związane z całokształtem koniecznych do wykonania prac polowych łącznie z elementami ekonomicznymi i społecznymi. W tej części pracy przedstawiono również modelowane elementy eksploatacji maszyn uwzględniające składniki procesu energetycznego i biologicznego.

CZĘŚĆ II

4. METODOLOGIA BADAŃ ZRÓWNOWAŻONEJ PRODUKCJI ZWIERZĘCEJ NA PRZYKŁADZIE OBÓR WOLNOSTANOWISKOWYCH

4.1. Wprowadzenie – informacje wstępne

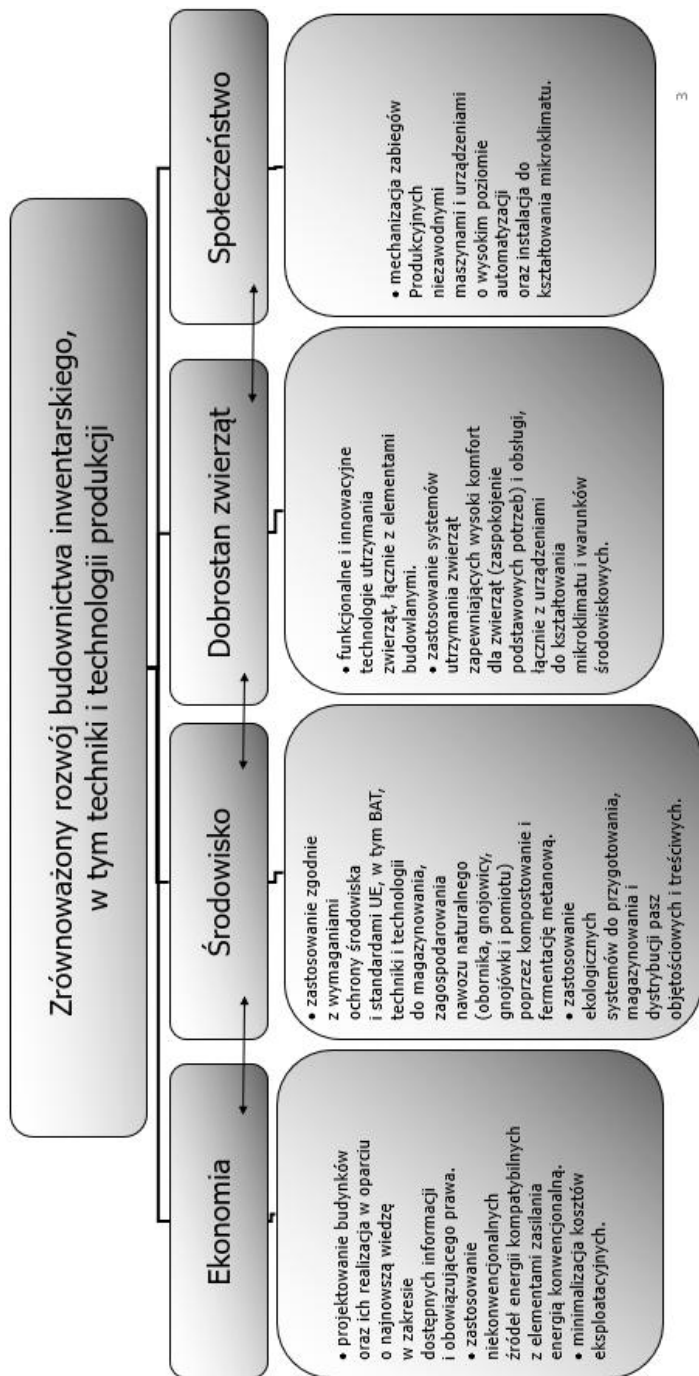
Nowoczesne technologie chowu zwierząt powinny spełniać wymagania wynikające z potrzeb ekonomicznych, środowiska, dobrostanu zwierząt i wymagań społeczeństwa. Na schemacie 4.1 przedstawiono standardy rozwoju innowacyjnego systemu zrównoważonej produkcji.

Technologia w rozumieniu zrównoważonej produkcji oznacza sposób organizacji wykonywania pracy, a więc posługiwania się techniką. Technologia jest analizowana i oceniana w odniesieniu do zabiegów produkcyjnych w chowie zwierząt.

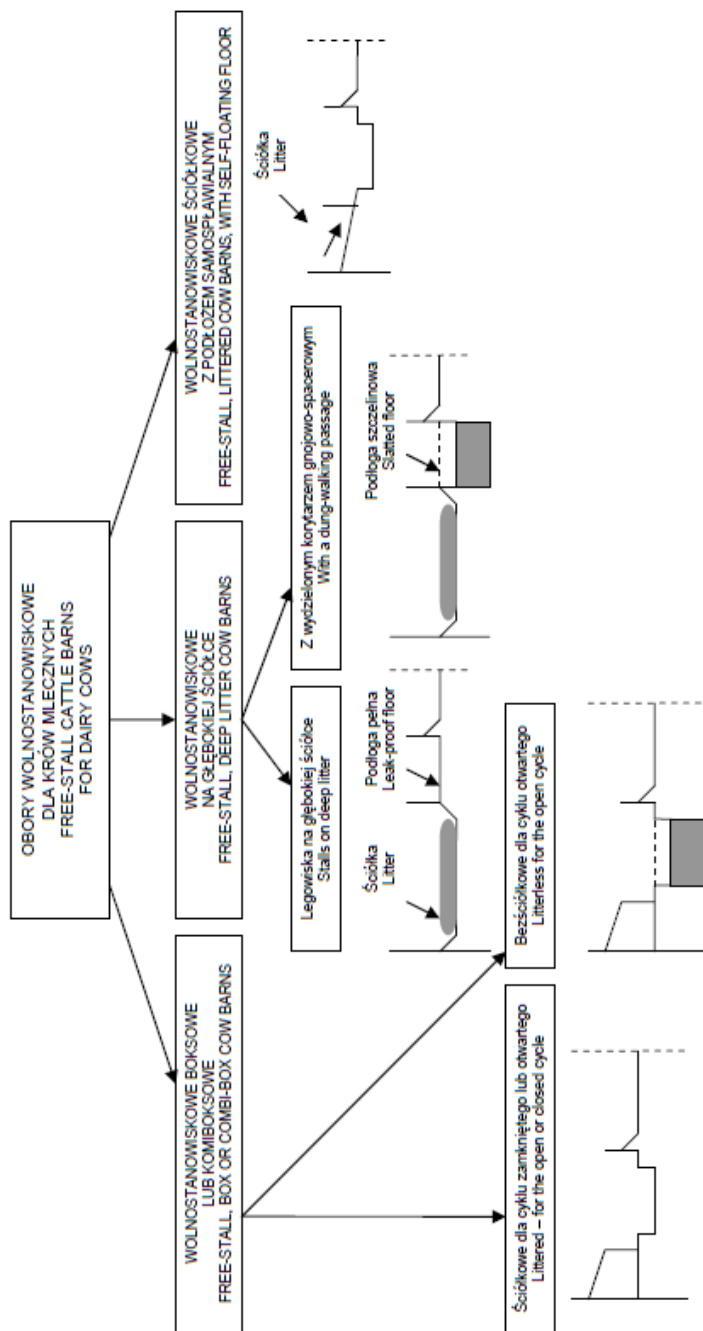
Miarą funkcjonalności obory lub chlewni jest ocena przestrzennego układu wzajemnie ze sobą zsynchronizowanych pomieszczeń produkcyjnych i pomocniczych podporządkowanych technologii, biologii zwierząt (dobrostanu zwierząt) i organizacji pracy z uwzględnieniem ergonomii i higieny pozyskiwania surowca (np. mleka, mięsa).

Kompleksowe badania obiektów zrealizowano na podstawie niżej przedstawionej metodyki w następującej kolejności:

- Wybór obiektów do badań według następujących etapów przedstawionych na rysunku 4.2 i 4.3;
- Opracowanie karty identyfikacyjnej badanego obiektu;



Rys. 4.1. Podstawowe standardy rozwoju nowoczesnego systemu produkcji



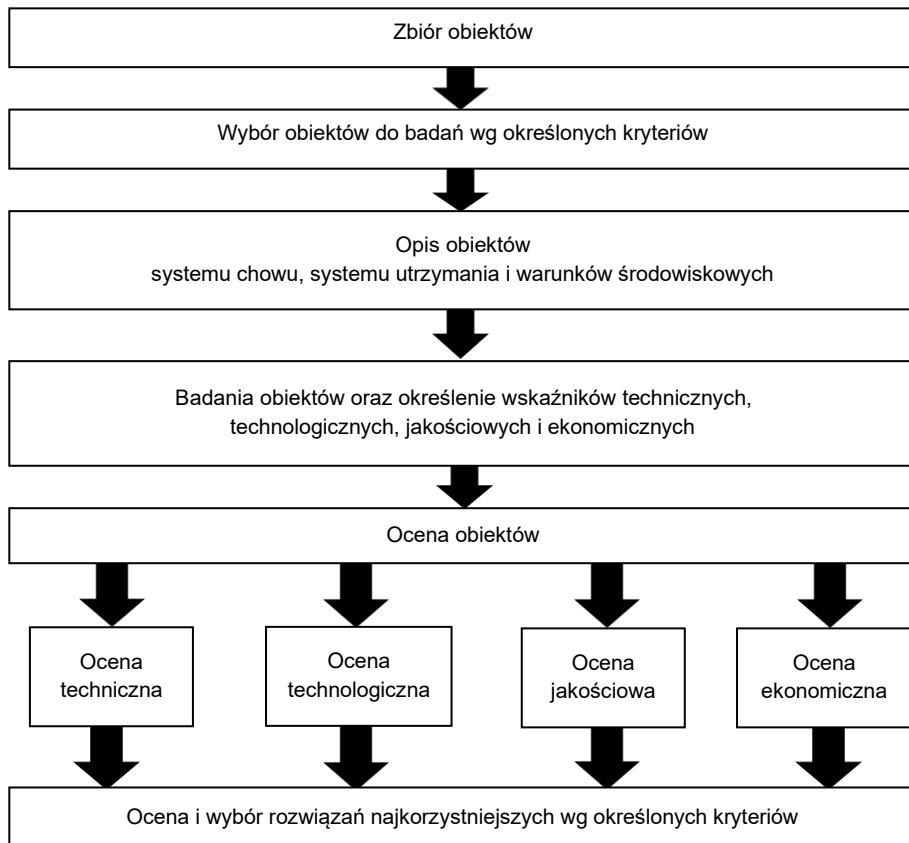
Rys. 4.2. Koncepcja rozwiązań funkcjonalnych obór realizowanych w budownictwie zrównoważonym

- Identyfikacja elementów charakteryzujących badany obiekt, niezbędnych do oceny eksploatacyjnej i wyboru rozwiązań obiektów w odniesieniu do zabiegów: I – doju i wstępnej obróbki mleka, II – żywienia i przygotowania pasz, III – usuwania i magazynowania nawozu naturalnego, IV – prac różnych.
 - wyznaczenie zmiennych decyzyjnych technicznych charakteryzujących dany obiekt – zbiór $A = \{x_1, x_2, \dots, x_{n-1}, x_n\}$ gdzie $x_1 \dots, x_n$ to zmienne techniczne (parametry budynku, wymiary korytarzy, legowisk, kanałów gnojowniczych, zbiorników nawozów naturalnych);
 - wyznaczenie zmiennych decyzyjnych technologicznych charakteryzujących dany obiekt – zbiór $B = \{y_1, y_2, \dots, y_{n-1}, y_n\}$ gdzie $y_1 \dots, y_n$ – wartości energii elektrycznej, mechanicznej w zabiegach technologicznych;
 - wyznaczenie zmiennych jakościowych wynikających z warunków mikroklimatycznych obiektu – zbiór $C = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$ gdzie $w_1 \dots, w_n$ wartości parametrów mikroklimatu;
 - wyznaczenie zmiennych ekonomicznych opisujących badany obiekt lub zbiór obiektów – zbiór $D = \{z_1, z_2, \dots, z_n\}$ gdzie $z_1 \dots, z_n$ to koszty inwestycyjne budynku i wyposażenia, koszty energii elektrycznej i mechanicznej w odniesieniu do I, II, III i IV zabiegu produkcyjnego.
- Model wielokryterialnej oceny grupy obiektów
- Analiza statystyczna

4.2. Wybór obiektów do badań

Pośród obiektów wolnostanowiskowych zrealizowanych w latach 2014-2018 wybrano przykładowe obiekty w systemie boksowym ściółkowym i bezściółkowym, po 4 z każdego systemu, oraz cztery obory z legowiskiem na głębokiej ściółce z obszarem paszowym na podłodze szczelinowej, które spełniają następujące kryteria:

- obsada od ok. 40 do ok. 140 DJP,
- bydło o wydajności rocznej powyżej 6000 dm³ mleka od krowy,
- co najmniej IV poziom mechanizacji zabiegów technologicznych.

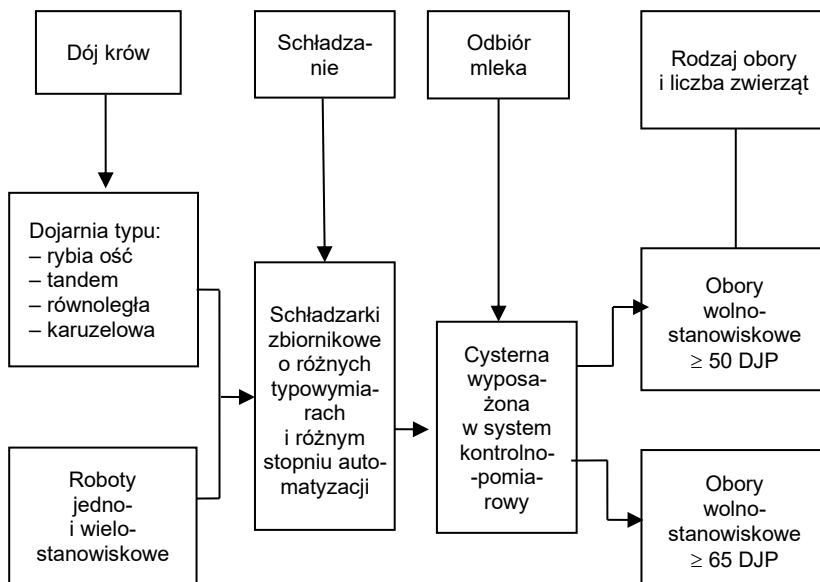


Rys. 4.3. Schemat etapów przyjętej metodyki

Badania doju i wstępnej obróbki mleka (zabieg I)

Badania doju i wstępnej obróbki mleka przeprowadzono zgodnie wymaganiami, określonymi w uregulowaniach prawnych [Rozporządzenie MRiRW... 2010] oraz w opracowaniach ROMANIUKA, OVERBY [2005a, b] oraz ROMANIUKA [1996]. Do obliczeń kosztów eksploatacji doju i wstępnej obróbki mleka wykorzystano, jako materiał pomocniczy, opracowania: ROMANIUK i in. [2007], MUZALEWSKI [2009].

Schemat blokowy, charakteryzujący zabieg I (dój i wstępna obróbka mleka) w badanych oborach bydła mlecznego, przedstawiono na rysunku 4.4, zabieg II na rysunku 4.5 i 4.6, a zabieg III na rysunku 4.7.



Rys. 4.4. Schemat zabiegu doju i wstępnej obróbki mleka [opracowanie własne]

Badania warunków przygotowania i zadawania pasz (zabieg II)

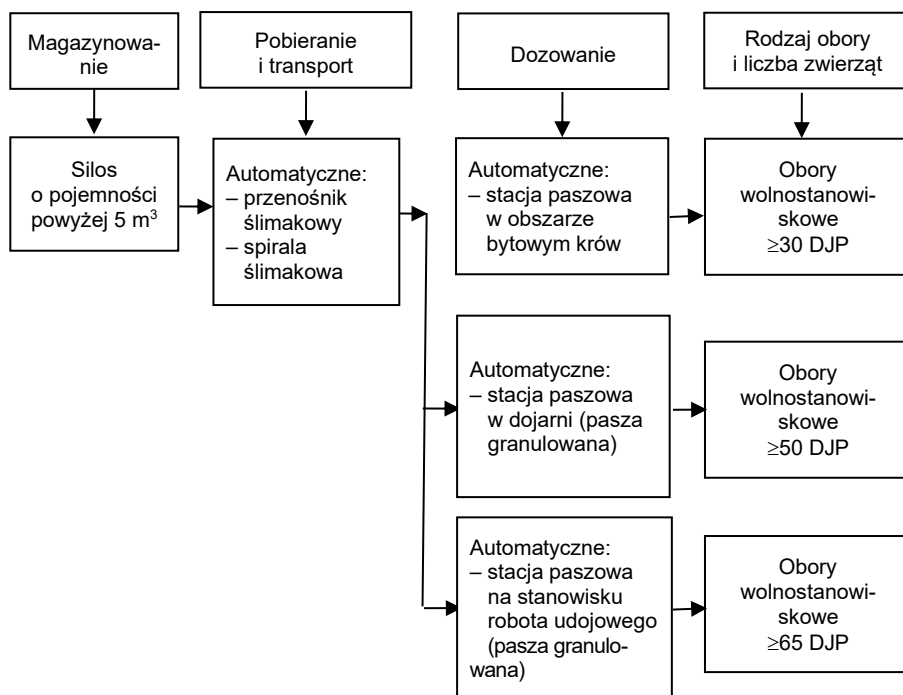
Badania zabiegu przygotowania i zadawania pasz oraz dobrostanu bydła przeprowadzono zgodnie z następującymi wymaganiami:

- zwierzęta karmiono odpowiednio (jakość paszy, dawka); pokarm podawano w odpowiednich odstępach czasu do potrzeb fizjologicznych zwierząt;
- w karmieniu dawkowanym wszystkie zwierzęta miały jednocześnie dostęp do paszy (odpowiednia liczba stanowisk, długość żłobów, koryt);
- urządzenia do karmienia i pojenia zwierząt były skonstruowane, umieszczone i konserwowane w taki sposób, by zminimalizować ryzyko zanieczyszczenia pokarmu i wody oraz szkodliwych skutków walki o pokarm i wodę;
- zwierzętom zapewniono dostęp do odpowiednich źródeł wody pitnej;
- urządzenia do karmienia i pojenia były w dobrym stanie technicznym;

- materiały użyte do wykonania sprzętu nie były szkodliwe dla zwierząt;
- wszystkie zwierzęta powyżej 2 tygodnia życia miały dostęp do wystarczającej ilości wody lub innych płynów;
- w upalne dni oraz dla zwierząt chorych był zapewniony stały dostęp do wody pitnej.

W ocenie wpływu zastosowanej technologii na dobrostan zwierząt posłużono się oceną na zgodność z najważniejszymi wymaganiami określonymi w aktach prawnych [Rozporządzenie MRiRW... 2010a, b; Rozporządzenie MŚ... 2008; Rozporządzenie RM... 2010; Ustawa... 1997; 2007] oraz opracowaniach ROMANIUKA, OVERBY [2005a, b]. Do obliczeń kosztów eksploatacji linii żywienia wykorzystano, jako materiał pomocniczy, opracowania MUZALEWSKIEGO [2010] oraz GAZZARINA [2011].

Schemat blokowy, charakteryzujący zabieg II. (przygotowanie i zadawanie pasz) w badanych oborach bydła mlecznego), przedstawiono na rysunkach 4.5 i 4.6.



Rys. 4.5. Schemat zabiegu przygotowania i zadawania paszy treściwej [opracowanie własne]

Badania warunków usuwania i magazynowania nawozów naturalnych (zabieg III)

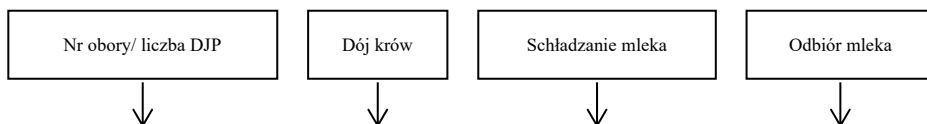
Podstawą badań obór bydła mlecznego były następujące założenia metodyczne:

- wybór obiektów do badań, w tym określenie kryteriów wyboru;
- opracowanie karty identyfikacyjnej badanego obiektu;
- syntetyczny opis utrzymania zwierząt w obiekcie;
- identyfikacja elementów charakteryzujących zabieg III (usuwanie i magazynowanie nawozów naturalnych) w badanym obiekcie;
- opis analityczny zabiegu III w danym obiekcie;
- ocena badanych obiektów.

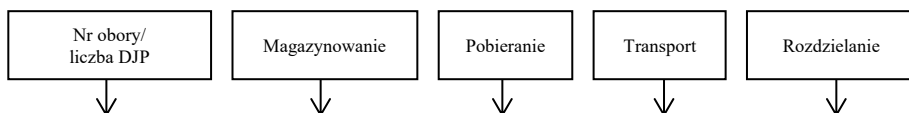
Schemat blokowy, charakteryzujący zabieg III usuwania i magazynowania nawozu naturalnego w badanych oborach bydła mlecznego, przedstawiono na rysunku 4.7.

4.3. Karta identyfikacyjna obiektu

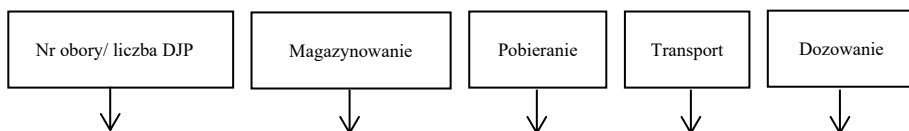
Podstawowe elementy wykonanych obór przedstawiono w formie ankiety dla badanych obiektów. Schemat blokowy mechanizacji charakteryzującej zabiegi I, II, III i IV przedstawiono na rysunkach 4.8-4.12.



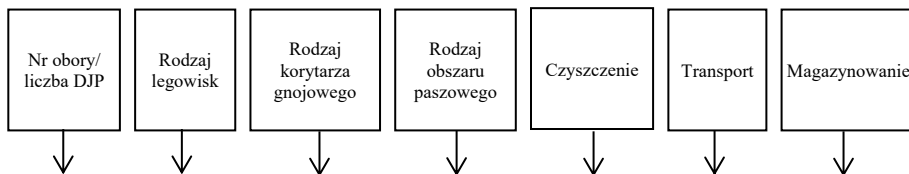
Rys. 4.8. Schemat blokowy mechanizacji doju krów i wstępnej obróbki mleka w oborach wolnostanowiskowych



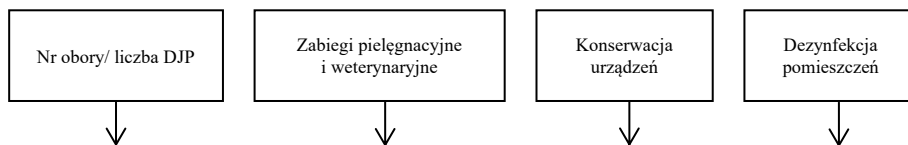
Rys. 4.9. Schemat blokowy żywienia paszami objętościowymi



Rys. 4.10. Schemat blokowy zabiegu żywienia paszami treściwymi



Rys. 4.11. Schemat blokowy mechanizacji zabiegu usuwania i magazynowania nawozu naturalnego



Rys. 4.12. Schemat blokowy mechanizacji prac różnych

Temperaturę i wilgotność zmierzono przy pomocy termohigrobarometrów, natężenie oświetlenia zmierzono luksomierzem, prędkość powietrza wyznaczono za pomocą katatermometru suchego, natomiast w wybranych oborach dokonano pomiaru prędkości powietrza oraz wymiany powietrza przy pomocy termoanemometrów. Zastosowano metodykę badań parametrów mikroklimatu zawartą w normie branżowej BN-86/880-03 [Norma Branżowa 1986].

Wskaźniki x_1, x_2, \dots, x_n oraz wskaźniki $y_{1d}, y_{2d}, \dots, y_n$, a także wskaźniki w_1, w_2, \dots, w_n są wartościami pochodzącymi z badań i stanowią elementy wejściowe do obliczenia wskaźników z_1, z_2, \dots, z_n . Wartości elementów zbioru D obliczono przy wykorzystaniu wartości elementów zbiorów A, B i C oraz wartości poziomu cen ustalonych na te wskaźniki.

Sposób wyliczenia kosztów eksploatacji przedstawiono w dalszej części opracowania.

Określenie kosztów eksploatacji obór

$$K_{eb} = K_{utrz}^b + K_{uż}^b \quad (4.1)$$

$$K_{utrz} = K_{utrz\ b} + K_{utrz\ wyp} \quad (4.2)$$

Jednostkowe koszty eksploatacyjne

$$k_{ej} = \frac{K_{eb} + K_{e\ wyp}}{N_{DJP}} \quad [\text{zł} \cdot \text{DJP}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}] \quad (4.3)$$

lub

$$k_{ej} = \frac{K_{eb} + K_{e\text{wyp}}}{P} \quad [\text{zł} \cdot \text{dm}^{-3} \text{ mleka}] \quad (4.4)$$

gdzie:

k_e – jednostkowe koszty eksploatacji [$\text{zł} \cdot \text{DJP}^{-1}$];

K_{eb} – koszty eksploatacji budynku [$\text{zł} \cdot \text{rok}^{-1}$];

$K_{e\text{wyp}}$ – koszty eksploatacji wyposażenia [$\text{zł} \cdot \text{rok}^{-1}$];

P – ilość wyprodukowanego mleka [dm^3].

Koszty eksploatacyjne budynku

$$K_{eb} = K_{utr}^b + K_{uż}^b \quad [\text{zł} \cdot \text{rok}^{-1}] \quad (4.5)$$

gdzie:

K_{utr}^b – koszty utrzymania budynku;

$K_{uż}^b$ – koszty użytkowania budynku.

Koszty utrzymania budynku

$$K_{utr}^b = A_b + K_{ub}^b \quad (4.6)$$

gdzie:

A_b – amortyzacja budynku [$\text{zł} \cdot \text{rok}^{-1}$];

K_{ub}^b – koszty ubezpieczenia budynku [$\text{zł} \cdot \text{rok}^{-1}$].

Koszt amortyzacji budynku

$$A_b = \frac{K_i^b}{T_b} \quad (4.7)$$

gdzie:

K_i^b – koszty inwestycyjne [zł];

T_b – zakładana trwałość budynku [liczba lat].

Koszty użytkowania budynku

$$K_{u\dot{z} b} = K_{ee}^b + K_n^b \quad [\text{zł}] \quad (4.8)$$

gdzie:

 K_{ee}^b – koszty energii elektrycznej [zł·rok⁻¹]; K_n^b – koszty napraw (remontów) [zł·rok⁻¹].

$$K_{ee}^b = K_{ośś}^b + K_{e.w.} \quad [\text{zł}] \quad (4.9)$$

gdzie:

 $K_{ośś}^b$ – koszty oświetlenia [zł·rok⁻¹]; $K_{e.w.}$ – koszty energii elektrycznej na wentylację mechaniczną [zł·rok⁻¹].**Koszty oświetlenia**

$$K_{oś}^b = N_{ew}^b C_{kWh} \quad [\text{zł·rok}^{-1}] \quad (4.10)$$

gdzie:

 N_{ew}^b – zużycie energii elektrycznej na oświetlenie [kWh·rok⁻¹]; C_{kWh} – cena jednostkowa energii elektrycznej [zł·kWh⁻¹].**Koszty eksploatacji wentylacji mechanicznej**

W obiektach inwentarskich w których stosowana jest wentylacja grawitacyjna to jej koszty eksploatacyjne stanowią element całkowitych kosztów eksploatacyjnych budynku

$$K_{ew} = K_{utr.z.w.} + K_{u\dot{z}.w.} \quad [\text{zł·rok}^{-1}] \quad (4.11)$$

gdzie:

 $K_{utr.z.w.}$ – koszt utrzymania wentylacji [zł·kWh⁻¹]; $K_{u\dot{z}.w.}$ – koszt użytkowania wentylacji [zł·kWh⁻¹].

$$K_{utr.z.w.} = A_w + K_{ub.w.} \quad [\text{zł}\cdot\text{rok}^{-1}] \quad (4.12)$$

gdzie:

A_w – amortyzacja wentylacji [$\text{zł}\cdot\text{rok}^{-1}$];

$K_{ub.w.}$ – koszt ubezpieczenia wentylacji [$\text{zł}\cdot\text{rok}^{-1}$].

$$K_{uż.w.} = K_{en.w.} + K_{nw} \quad [\text{zł}\cdot\text{rok}^{-1}] \quad (4.13)$$

gdzie:

$K_{en.w.}$ – koszt energii elektrycznej w roku [$\text{zł}\cdot\text{rok}^{-1}$];

K_{nw} – koszty naprawy wentylacji [$\text{zł}\cdot\text{rok}^{-1}$].

$$K_{en.w.} = N_{ew} \cdot C_{kWh} \quad [\text{zł}\cdot\text{rok}^{-1}] \quad (4.14)$$

gdzie:

N_{ew} – zużycie energii elektrycznej na wentylację [$\text{kWh}\cdot\text{rok}^{-1}$];

C_{kWh} – cena jednostkowa energii elektrycznej [$\text{zł}\cdot\text{kWh}^{-1}$].

Koszty napraw i remontów budynków

$$K_n^b = S_b \frac{K_i^b}{T_b} \quad [\text{zł}\cdot\text{rok}^{-1}] \quad (4.15)$$

gdzie: $S_b = 0,2-0,5$

Koszty eksploatacyjne wyposażenia

$$K_{e\text{ wyp}} = K_{utr.z\text{ wyp}} + K_{uż\text{ wyp}} \quad (4.16)$$

gdzie:

$K_{utr.z\text{ wyp}}$ – koszty utrzymania wyposażenia [$\text{zł}\cdot\text{rok}^{-1}$];

$K_{uż\text{ wyp}}$ – koszty użytkowania wyposażenia [$\text{zł}\cdot\text{rok}^{-1}$].

Koszty utrzymania wyposażenia

$$K_{utr\ z\ w\ y\ p} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{C_{m\ i}}{T_i} + K_{u\ i} \right) \text{ [zł}\cdot\text{rok}^{-1}] \quad (4.17)$$

gdzie:

$C_{m\ i}$ – cena (wartość) odtworzeniowa maszyny lub urządzenia [zł];

T_i – okres trwałości [liczba lat];

$K_{u\ i}$ – koszt ubezpieczenia maszyny lub urządzenia [zł·rok⁻¹].

Koszty użytkowania wyposażenia

$$K_{u\ z\ w\ y\ p} = K_r + K_{e\ e} + K_{e\ m} + K_n \text{ [zł]} \quad (4.18)$$

gdzie:

K_r – koszty robocizny;

$K_{e\ e}$ – koszty energii elektrycznej;

$K_{e\ m}$ – koszty energii mechanicznej;

K_n – koszty napraw.

Jednostkowy koszt użytkowania wyposażenia

$$k_{u\ z} = \frac{K_{u\ z\ w\ y\ p}}{N_{DJP}} \text{ [zł]} \quad (4.19)$$

Koszty robocizny

$$K_r = N_r N_{DJP} C_j \text{ [zł]} \quad (4.20)$$

$$N_r = n'_r \cdot 200 + n''_r \cdot 165 \quad (4.21)$$

gdzie:

N_r – nakłady robocizny [rbmin·rok⁻¹];

n'_r – jednostkowe dzienne nakłady robocizny w okresie zimowym [rbmin·doba⁻¹·DJP⁻¹];

n''_r – jednostkowe dzienne nakłady robocizny w okresie letnim [rbmin·doba⁻¹·DJP⁻¹];

C_j – koszt 1 rbmin pracy ludzkiej [zł·min⁻¹].

Koszt energii elektrycznej

$$K_{ee} = N_{ee} C_{kWh} \quad (4.22)$$

gdzie:

K_{ee} – koszt energii elektrycznej [zł·rok⁻¹];

N_{ee} – nakłady energii elektrycznej [kWh·rok⁻¹];

C_{kWh} – koszt 1 kWh energii elektrycznej [zł·kWh⁻¹].

Koszt energii mechanicznej

$$K_{em} = N_{em} C_{em} \quad (4.23)$$

gdzie:

K_{em} – koszt energii mechanicznej [zł·rok⁻¹];

N_{em} – roczne nakłady energii mechanicznej [KMh·rok⁻¹];

C_{em} – koszt energii mechanicznej [zł·KMh⁻¹].

Koszty napraw

$$K_n = \sum_{i=1}^n S_n \left(\frac{C_{mi}}{T_i} \right) \quad (4.24)$$

$S_n = 0,2-1,1$ w zależności od maszyny lub urządzenia [MUZALEWSKI 2010]

4.4. Model oceny i wyboru rozwiązania na podstawie minimalizacji jednostkowych kosztów eksploatacyjnych

Jest on ustalony w oparciu o funkcję celu, która określa minimalizację jednostkowych kosztów eksploatacji obiektu w odniesieniu do 1 DJP lub 1 kg mleka.

Ograniczeniami do tej funkcji mogą być graniczne wartości nakładów inwestycyjnych, dopuszczalne graniczne nakłady energetyczne energii elektrycznej i mechanicznej, graniczne możliwe nakłady robocizny wyrażone w $\text{rbmin} \cdot \text{doba}^{-1} \cdot \text{DJP}^{-1}$, dopuszczalne stężenia gazów (amoniaku, siarkowodoru, dwutlenku węgla) i inne ograniczenia mogące w istotny sposób wpłynąć na wybór obiektu do realizacji.

4.5. Wybór rozwiązań najkorzystniejszych

Końcowa ocena i wybór rozwiązania została dokonana na podstawie następującej funkcji celu stanowiącej minimalizację jednostkowego kosztu eksploatacji obiektu:

$$k_{ej} = \frac{K_{utr} + K_{uż}}{N_{DJP}} \rightarrow \min.$$

Podstawą oceny i wyboru najkorzystniejszego rozwiązania techniczno-funkcjonalnego obory było spełnienie następujących ograniczeń:

I – Jednostkowych kosztów inwestycyjnych

$$k_{\text{inwest.}} \leq k_{\text{gr inwest.}} \quad [\text{zł} \cdot \text{DJP}^{-1}]$$

II – Jednostkowych nakładów robocizny

$$n_r \leq n_{\text{gr r}} \quad [\text{rbmin} \cdot \text{doba}^{-1} \cdot \text{DJP}^{-1}]$$

III – Stężenia szkodliwych gazów:

$$\text{dwutlenek węgla } S_{\text{CO}_2} \leq S_{\text{gr CO}_2}$$

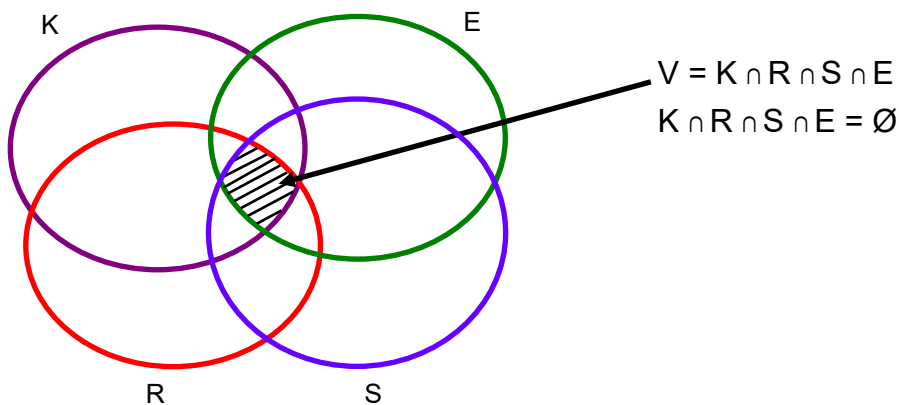
$$\text{amoniak } S_{\text{NH}_3} \leq S_{\text{gr NH}_3}$$

IV – Jednostkowych nakładów energii elektrycznej i mechanicznej

$$e_j \leq e_{gr} [\text{kWh} \cdot \text{doba}^{-1} \cdot \text{DJP}^{-1}, \text{KMh} \cdot \text{doba}^{-1} \cdot \text{DJP}^{-1}]$$

gdzie: k_{gr} inwest, n_{gr} r, S_{gr} CO₂, S_{gr} NH₃, e_{gr} stanowią warunki graniczne określone przez inwestora, standardy lub normy branżowe.

Sposób wyboru rozwiązań przy zachowaniu wszystkich ograniczeń od I do IV ilustruje diagram z rysunku 4.9.



Rys. 4.9. Schemat wyboru zbioru najkorzystniejszych rozwiązań

Zbiór V jest częścią wspólną zbiorów K, R, S i E, czyli zbiorem spełniającym wszystkie kryteria, K – zbiór obór spełniających ograniczenie I, R – zbiór obór spełniających ograniczenie II, S – zbiór obór spełniających ograniczenie III, E – zbiór obór spełniających ograniczenie IV.

Badane rozwiązania zostały uporządkowane w kolejności zgodnie ze sformułowaną funkcją celu, czyli według kosztów eksploatacji dążących do minimum.

5. BADANIA WIELOKRYTERIALNE OBÓR WOLNOSTANOWISKOWYCH

Realizacja nowoczesnych obiektów inwentarskich niezbędnych w procesie produkcji mleka, mięsa lub innych produktów powinna uwzględniać uwarunkowania związane z ochroną środowiska, przy zapewnieniu wysokiej jakości produkcji z zachowaniem dobrostanu zwierząt. Na rozwój specjalistycznych gospodarstw w zakresie produkcji bydłowej, w tym gospodarstw rodzinnych, składają się następujące ograniczenia:

- środowiskowe, m.in. emisja gazów: CO₂, NH₃, CH₄, NO_x, H₂S, skażenie wód gruntowych, skażenie gleby, zapylenie i hałas;
- związane z zapewnieniem bezpieczeństwa produkcji, w tym: dobrostan zwierząt, bezpieczeństwo i komfort obsługi, jakość wyprodukowanego surowca;
- ekonomiczne, w tym stabilność cen produktów rolnych i cen surowców energetycznych oraz cen energii elektrycznej;
- społeczne w zakresie poziomu świadomości, kwalifikacji technologicznych i ergonomii.

Celem badań było dokonanie oceny istniejącego stanu stosowanych technologii chowu bydła mlecznego z uwzględnieniem nakładów inwestycyjnych, nakładów energetycznych, robocizny, poziomu emisji gazów odzwierzęcych (amoniaku i dwutlenku węgla) oraz kosztów eksploatacji. Na podstawie badań zostały opracowane wytyczne techniczno-technologiczne, pozwalające na zaprojektowanie nowoczesnych, proekologicznych budynków i technologii chowu bydła, ograniczających emisję gazów odzwierzęcych.

Zakres badań dla zaprezentowania rezultatów i wybór rozwiązania najkorzystniejszego obejmował 4 obory wolnostanowiskowe dla krów mlecznych w różnych systemach utrzymania: ściółkowym na głębokiej ściółce, ściółkowym boksowym na płytkiej ściółce, ściółkowym z podłożem samospławalnym oraz boksowym bezściółkowym. Badane gospodarstwa produkują mleko w klasie Extra i należą do typu gospodarstw indywidualnych.

Posiadana powierzchnia waha się od 65 ha do 180 ha. Obory zostały wybudowane w okresie ostatnich dziesięciu lat. W wybranych oborach koncentracje stad wynosiły od 75 DJP do 144 DJP bydła o jednostkowej rocznej wydajności powyżej 6000 litrów.

5.1. Opis gospodarstwa nr 1 oraz budynku inwentarskiego stanowiącego przedmiot badań

Gospodarstwo jest położone w województwie lubelskim. Gospodarstwo ma powierzchnię 116 ha, w tym użytki orne 87 ha, użytki zielone 27 ha. Jest to gospodarstwo rodzinne o typowo mlecznym typie produkcji. Mleko jest odprowadzane do mleczarni w Radzynie Podlaskim. Wydajność roczna stada wynosi 6700 litrów mleka klasy ekstra.

5.1.1. System chowu i system utrzymania w oborze w gospodarstwie nr 1

System chowu i utrzymania

Obora w gospodarstwie nr 1 jest wolnostanowiskowa w systemie ściółkowym w cyklu otwartym, z podłożem samospławialnym. Jest to obora dwurzędowa z jednym, środkowym korytarzem paszowym. Po obu stronach korytarza paszowego znajdują się kojce zbiorowe dla krów, w tym po jednej stronie dla krów mlecznych a po drugiej dla krów mlecznych, zasuszonych, jałówek i cieląt, ścielone słomą z podłożem o nachyleniu 10°. Ferma dla 140 DJP krów składa się z budynku podstawowego obory obejmującego pomieszczenia dla krów dojnych, zasuszonych i młodzieży, rozwiązanego w układzie halowym bez poddasza użytkowego powiązanego funkcjonalnie łącznikiem (stanowiącym poczekalnię) z istniejącą halą udojową i pomieszczeniem związanym ze wstępną obróbką mleka. Korytarz paszowy oddziela od pomieszczeń dla zwierząt drabina paszowa samozatraskowa u krów i drabina z rur ukośnych u krów zasuszonych, jałówek, cieląt. Obornik usuwany jest na płytę gnojową ciągnikiem z szuflą. Obora uzupełniona jest zespołem podstawowych pomieszczeń socjalno-sanitarnych. Obsada wynosi: 80 szt. krów mlecznych, 20 szt. krów zasuszonych, 80 szt. jałówek + cieląt, razem: 140 DJP.

5.1.2. Zagospodarowanie działki w gospodarstwie nr 1

Badania kształtowania zabudowy działek zagrodowych w gospodarstwach rolnych o profilu: produkcja zwierzęca, bydło mleczne i mięsne, mają na celu określenie: wpływu technologii, parametrów charakteryzujących działki zagrodowe oraz sposobu i warunków najbardziej efektywnego wykorzystania powierzchni działki. Wyniki badań mogą służyć ocenie problemów technicznych i organizacyjnych w specjalistycznym gospodarstwie rolnym.

Przedmiotowe badania zapewniły obiektywny obraz działki zagrodowej ze szczególnym uwzględnieniem oddziaływania obiektów służących produkcji zwierzęcej i uciążliwych dla środowiska, jak np. budynki inwentarskie, gnojownie, silosy i zbiorniki na gnojówkę i gnojowicę. Badania opierały się na szczegółowej rejestracji wszystkich obiektów budowlanych i technologicznych związanych z gruntem na terenie działki zagrodowej. Obora jest położona w odległości od 33,50 do 47 m od skrajni drogi zewnętrznej wojewódzkiej. Działka zagrodowa położona jest na terenie nachylonym ok. 1% w kierunku drogi objazdowej, co umożliwia odprowadzenie naturalne wód powierzchniowych do rowu przydrożnego. Kształt działki jest zbliżony do trapezu o boku i podstawie ok. 100 m. Działka zlokalizowana jest w narożu skrzyżowania dróg wiejskich, dwoma pozostałymi bokami przylega do gruntów rolnych.

Brak wydzielonych sektorów: mieszkalnego, magazynowo – usługowego i produkcji zwierzęcej. Zabudowa tworzy podwórze, dominuje przypadkowa lokalizacja budynków gospodarczych, brak ładu przestrzennego, błędne ustawienie budynku inwentarskiego o osi podłużnej w kierunku wsch.-zach. w nawiązaniu do układu poziomicy. Na działce są duże obszary powierzchni biologicznie czynnej pozostające nieuporządkowane, brak zieleni wysoko i nisko piennej.

Budynek obory jest połączony technologicznie z gnojownią typu płytowego ze ścianami osłaniającymi $h=2,0$ m. Gnojownia zlokalizowana jest w odległości 4,0 m od ściany podłużnej obory. Gnojownia wiąże się bezpośrednio ze zbiornikami na gnojówkę konstrukcji żelbetowej o pojemności $57,6 \text{ m}^3$. Dojazdy do budynku obory z obu szczytów, dojazd do gnojowni i zbiorników o nawierzchni utwardzonej.

Powierzchnie działki, budynków i budowli:

• Działka	10800,0 m ²
• Budynki inwentarskie:	
obora	1 340,0 m ²
poczekalnia + socjalne	120,0 m ²
dojarnia	105,0 m ²
Razem	1 565,0 m ²
• Budynek mieszkalny	114,0 m ²
• Budynki gospodarcze	852,5 m ²
• Zbiornik + płyta	258,0 m ²
w tym: zbiornik na gnojówkę	57,6 m ²
płyta gnojowa	200,0 m ²
• Powierzchnia dróg i placów	1 986,0 m ²
• Powierzchnia sektorowa produkcji zwierzęcej	7 830,0 m ²

Powierzchnia działki zagrodowej	$F_c = 10800 \text{ m}^2$
Powierzchnia zabudowy	$F_z = 2790 \text{ m}^2$
Powierzchnia komunikacyjna	$F_k = 1986 \text{ m}^2$
Powierzchnia biologicznie czynna	$F_u = 6024 \text{ m}^2$

Wskaźnik intensywności zabudowy

$$J = \frac{F_z}{F_c} = \frac{2790}{10800} = 0,258$$

Wskaźnik wykorzystania powierzchni

$$W = \frac{F_z + F_k}{F_c} = \frac{2790 + 1986}{10800} = 0,4421$$

Wskaźnik powierzchni biologicznie czynnej

$$B = \frac{F_u}{F_c} = \frac{6024}{10800} = 0,558$$

5.1.3. Charakterystyka techniczno-ekonomiczna obory w gospodarstwie nr 1

Ocena elementów technicznych

Budynek pomieszczenia głównego zwierząt został wybudowany w układzie 1-poziomowym, 3-nawowym z 2 rzędami słupów stalowych o rozstawie co 4,5 m i rozstawie poprzecznym 8,10+3,90+8,10, przykrytych więzarami drewnianymi dwuczęściowymi podpartymi na ścianach zewnętrznych i 2 podciągach podłużnych. Łącznik między oborą a dojarnią kryty dachem płaskim jednospadowym. Dach pokryty blachą trapezową, izolacja termiczna stropodachu z wełny mineralnej o grubości 20 cm.

Tabela 5.1. Zestawienie wartości technicznych badanego budynku obory w gospodarstwie nr 1

Parametr									
x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}
Wartość									
5,19	2,7	1,755	0,87	0,3	62,7	2,64	3,57	1,42	0,60

Parametr									
x_{11}	x_{12}	x_{13}	x_{14}	x_{15}	x_{16}	x_{17}	x_{18}	x_{19}	
Wartość									
0,197	0,02	10,75	9,234	9,045	0,26	0,53	0,082	0,154	

Opis oznaczeń:

- x_1 – jednostkowa powierzchnia legowisk [$m^2 \cdot DJP^{-1}$]
- x_2 – jednostkowa powierzchnia korytarzy gnojowych [$m^2 \cdot DJP^{-1}$]
- x_1 – jednostkowa powierzchnia korytarza paszowego [$m^2 \cdot DJP^{-1}$]
- x_1 – jednostkowy wymiar obszaru dostępu do paszy [$m \cdot DJP^{-1}$]
- x_1 – jednostkowa powierzchnia podłogi szczelinowej [$m^2 \cdot DJP^{-1}$]
- x_1 – kubatura obiektu [$m^3 \cdot DJP^{-1}$]
- x_1 – jednostkowa pojemność magazynowania nawozu płynnego – zbiornika gnojówki i gnojowicy [$m^3 \cdot DJP^{-1}$]
- x_1 – jednostkowa pojemność magazynowania nawozu stałego [$m^3 \cdot DJP^{-1}$]
- x_1 – jednostkowa powierzchnia składowania nawozu stałego [$m^2 \cdot DJP^{-1}$]
- x_{10} – jednostkowa pojemność zbiornika na wody technologiczne [$m^3 \cdot DJP^{-1}$]
(przy bydle mlecznym)
- x_{11} – jednostkowa powierzchnia pomieszczenia na mleko [$m^2 \cdot DJP^{-1}$]
- x_{12} – jednostkowa powierzchnia pomieszczeń pomocniczych [$m^2 \cdot DJP^{-1}$]
- x_{13} – powierzchnia zabudowy [$m^2 \cdot DJP^{-1}$]
- x_{14} – powierzchnia użytkowa [$m^2 \cdot DJP^{-1}$]
- x_{15} – powierzchnia produkcyjna [$m^2 \cdot DJP^{-1}$]
- x_{16} – powierzchnia okien [$m^2 \cdot DJP^{-1}$]
- x_{17} – powierzchnia świetlika kalenicowego [$m^2 \cdot DJP^{-1}$]
- x_{18} – powierzchnia kanałów nawiewnych [$m^2 \cdot DJP^{-1}$]
- x_{19} – powierzchnia kanałów wywiewnych [$m^2 \cdot DJP^{-1}$]

5.1.4. Opis warunków środowiskowych w oborze gospodarstwa nr 1

Wartości parametrów mikroklimatu w oborze gospodarstwa nr 1 przedstawia tabela 5.2.

Tabela 5.2. Wartości wskaźników mikroklimatycznych w oborze gospodarstwa nr 1

Wskaźnik								
w_1	w_2	w_3	w_4	w_5	w_6	w_7	w_8	w_9
26,1	26,7	61,1	76,7	2500 460-3000	15 8-20	0,1	253	124-227

Opis oznaczeń:

w_1 – temperatura powietrza na zewnątrz budynku [$^{\circ}\text{C}$]

w_2 – temperatura wewnątrz budynku [$^{\circ}\text{C}$]

w_3 – wilgotność względna powietrza na zewnątrz budynku [%]

w_4 – wilgotność względna powietrza wewnątrz budynku [%]

w_5 – stężenie dwutlenku węgla CO_2 [ppm] (średnia, zakres)

w_6 – stężenie amoniaku NH_3 [ppm]

w_7 – średnia prędkość powietrza [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]

w_8 – średnia wymiana powietrza [$\text{m}^3\cdot\text{DJP}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$]

w_9 – oświetlenie pomieszczeń inwentarskich [Lx].

W oborze zapewniono oświetlenie naturalne i sztuczne. Oświetlenie naturalne jest w postaci okien oraz świetlika kalenicowego. Ze względu na dużą szerokość budynku (ok. 20 m) w środkowym kalenicowym pasie dachu zaprojektowano system wentylacji szczelinowej wyciągowej grawitacyjnej z przykryciem tej części przezroczystymi płytami poliwęglanowymi stanowiącymi oświetlenie wnętrza. W budynku obory jest 49 okien o wymiarach w świetle muru 91 cm na 61 cm. Okna pełnią rolę otworów nawiewnych, natomiast otwór wywiewny znajduje się w kalenicy.

5.1.5. Opis procesu technologicznego w oborze gospodarstwa nr 1

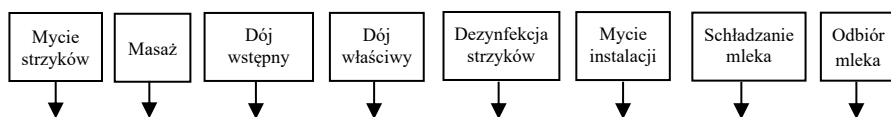
Proces technologiczny jest to całokształt następujących po sobie w określonym czasie i miejscu zabiegów oraz czynności technologicznych związanych z prowadzeniem procesów produkcyjnych w chowie zwierząt.

Proces technologiczny został podzielony na niżej wymienione zabiegi:

- zabieg I – doju i wstępnej obróbki mleka;
- zabieg II – przygotowania i zadawania pasz;
- zabieg III – usuwania i magazynowania nawozu naturalnego;
- zabieg IV – prace różne (czyszczenie, pielęgnacja, zapewnienie wentylacji).

Zabieg I – dój i wstępna obróbka mleka

Idea procesu technologicznego w zabiegu doju i wstępnej obróbki mleka została przedstawiona na rysunku 5.1. Dojarnia została zaadoptowana do potrzeb wg obowiązujących wymogów i połączona funkcjonalnie łącznikiem. Do doju krów przeznaczona jest dojarnia typu „rybia ość” 2x7, z 14 stanowiskami udojowymi i taką też ilością aparatów udojowych. W pomieszczeniach wydzielonych w budynku głównym i łączniku dobudowanym, przeznaczonym na poczekalnię, może pomieścić się 28 krów. Pozostała liczba krów oczekuje na korytarzu dopędowym. Instalacja wodna zapewnia doprowadzenie wody o temperaturze ok. 35°C do pryszniców do mycia wymion, w które wyposażone jest każde stanowisko udojowe oraz ujęcie do splukiwania całego pomieszczenia. Popłuczyny z korytarza obsługi (korytarza dojarzkiego) są odprowadzane do zbiornika ścieków. Odchody ze stanowisk udojowych są splukiwane do rowków ściekowych i dalej na korytarz przepędowy zwierząt. Ściany pomieszczenia na całej wysokości są wyłożone płytkami ceramicznymi.

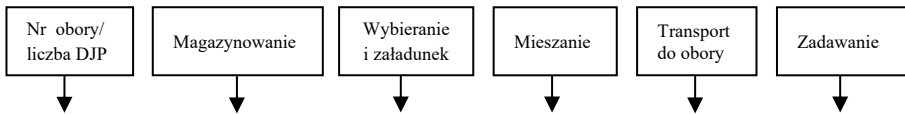


Rys. 5.1. Schemat blokowy zabiegu doju i wstępnej obróbki mleka w oborze gospodarstwa nr 1

W pomieszczeniu na mleko znajdują się urządzenia do schładzania i przechowywania mleka, odbieracz mleka z dojarni wraz z myjnią, 100 litrowy podgrzewacz wody, instalacja wodna i kanalizacja. Do schładzania i przechowywania mleka służy schładzarka zbiornikowa o pojemności 6000 l, a mleko jest odbierane co drugi dzień. Pomieszczenie jest zaopatrzone w zimną i gorącą wodę oraz oddzielny hydrant do zmywania posadzki i ścian. Posadzka posiada spadki i studzienki osadcze, ściany są wyłożone płytkami ceramicznymi.

Zabieg II- przygotowanie i zadawanie pasz

Idea procesu technologicznego w zabiegu przygotowanie i zadawanie pasz została przedstawiona na rysunku 5.2.



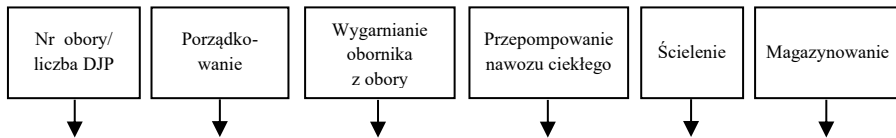
Rys. 5.2. Schemat blokowy zabiegu przygotowania i zadawania pasz w oborze gospodarstwa nr 1

Zwierzęta w oborze nr 1 pozostają przez cały rok w oborze. Przewidziano wybieg dla krów. Zwierzęta żywione są paszą przygotowywaną w wozie paszowym, składającą się z kiszonki z traw, kiszonki z kukurydzy, pasz treściwych. Wóz paszowy napędzany jest ciągnikiem Zetor 5320. Kiszonki pobierane są z silosu przy użyciu ładowacza czołowego typ 531 zawieszanego na ciągniku John Deere 5620 o mocy 52,9 kW. Przygotowywanie i zadawanie pasz wykonuje 1 osoba. Kiszonka i sianokiszonka jest magazynowana w silosach przejazdowych. W gospodarstwie są 3 silosy przejazdowe mające następujące parametry: szerokość 6 m, wysokość 2,5 m, długość 40 m. Całkowita pojemność silosów przejazdowych wynosi 1200 m³. Do pojenia służą poidła miskowe (16 szt.) i komorowe (3 szt.). W okresie lata jest żywienie świeżą zielonką.

Usuwanie i zagospodarowanie nawozu naturalnego

Idea procesu technologicznego w zabiegu usuwania i magazynowania nawozów naturalnych w oborze gospodarstwa nr 1 została przedstawiona na rysunku 5.3.

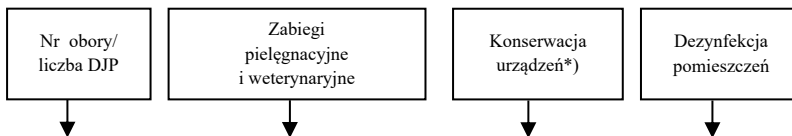
Z dwóch korytarzy gnojowo-spacerowych odchody w postaci obornika są samoczynnie spławiane z kojców legowiskowych i wygarniane za pomocą ciągnika z ładowaczem czołowym jeden raz dziennie na gnojownię.



Rys. 5.3. Schemat blokowy zabiegu usuwania i magazynowania nawozów naturalnych w oborze gospodarstwa nr 1

Prace różne

Schemat ideowy prac różnych przedstawia rysunek nr 5.4. Rozwiązania technologiczne w oborze zapewniają odpowiednie warunki chowu bydła. Pomieszczenia dla zwierząt są funkcjonalnie połączone z dojarnią, silosami przejazdowymi i gnojownią. Porodówka i pomieszczenia dla cieląt do 3 tygodni znajdują się w starej oborze.



Rys. 5.4. Schemat blokowy zabiegu IV- prace różne

*) kalkulacja kosztów łącznie z kosztami eksploatacji budynku obory

5.1.6. Określenie jednostkowych kosztów eksploatacji

W tabeli 5.3 przedstawiono koszty eksploatacji maszyn i urządzeń w poszczególnych zabiegach, natomiast w tabeli 5.4 – wartości ekonomiczne gospodarstwa nr 1.

Tabela 5.3. Koszty eksploatacji maszyn i urządzeń do mechanizacji zabiegów oraz budynku obory w gospodarstwie nr 1

Parametr	ke_1	ke_2	ke_3	ke_4	ke_b
Koszt	338,57	490,74	272,685	19,67	248,68

gdzie:

ke_1 – jednostkowe koszty eksploatacji maszyn i urządzeń w zabiegu I [$zł \cdot rok^{-1} \cdot DJP^{-1}$];

ke_2 – jednostkowe koszty eksploatacji maszyn i urządzeń w zabiegu II, [$zł \cdot rok^{-1} \cdot DJP^{-1}$];

ke_3 – jednostkowe koszty eksploatacji maszyn i urządzeń w zabiegu III, [$zł \cdot rok^{-1} \cdot DJP^{-1}$];

ke_4 – koszty eksploatacji maszyn i urządzeń w zabiegu IV, [$zł \cdot rok^{-1} \cdot DJP^{-1}$];

ke_b – koszty eksploatacji budynku, [$zł \cdot rok^{-1} \cdot DJP^{-1}$].

Tabela 5.4. Wartości ekonomiczne badanego obiektu – obory w gospodarstwie nr 1

Parametr	z_1	z_2	z_3	z_4	z_5	z_6	z_7
Koszt	8250,11	400	846,42	2733,47	6069,97	63,362	0
Parametr	z_8	z_9	z_{10}	z_{11}	z_{12}	z_{13}	z_{14}
Koszt	0	0,82	37,19	31,72	228,69	139,98	52,69

Przyjęte oznaczenia:

z_1 – jednostkowy koszt inwestycyjny obiektu (budynku z wyposażenia [$zł \cdot DJP^{-1}$];

z_2 – jednostkowy koszt ubezpieczenia obiektu (budynku) [$zł \cdot DJP^{-1} \cdot rok^{-1}$];

z_3 – koszty maszyn i urządzeń do mechanizacji zabiegu I [$zł \cdot DJP^{-1}$];

z_4 – koszty maszyn i urządzeń do mechanizacji zabiegu II [$zł \cdot DJP^{-1}$];

z_5 – koszty maszyn i urządzeń do mechanizacji zabiegu III [$zł \cdot DJP^{-1}$];

z_6 - z_9 – jednostkowy koszt energii elektrycznej z zabiegów

[$kWh \cdot CkWh \cdot DJP^{-1}$] => [$zł \cdot rok^{-1} \cdot DJP^{-1}$];

z_{10} – koszt ubezpieczenia maszyn do mechanizacji zabiegu II [$zł \cdot rok^{-1} \cdot DJP^{-1}$];

z_{11} – koszt ubezpieczenia maszyn do mechanizacji zabiegu III [zł·rok⁻¹·DJP⁻¹];

z_{12} – koszt robocizny w zabiegu doju (I) [zł·DJP⁻¹·rok⁻¹] [zł·DJP⁻¹·rok⁻¹];

z_{13} – koszt robocizny w zabiegu żywienia (II) [zł·DJP⁻¹·rok⁻¹];

z_{14} – koszt robocizny w zabiegu usuwanie i magazynowanie nawozu (III) [zł·DJP⁻¹·rok⁻¹]

5.2. Opis gospodarstwa nr 2 oraz budynku inwentarskiego stanowiącego przedmiot badań

Gospodarstwo jest położone w województwie mazowieckim. Obszar gospodarstwa wynosi 75 ha, w tym 35 ha dzierżawy, trwałych użytków zielonych 25 ha, uprawy zbóż 25 ha i kukurydzy 25 ha. Budynek obory oddany do użytku w 2007 roku. Krowy są rasy Simental oraz Montbeliarde. Roczna wydajność jednostkowa krów wynosi 6200 litrów. Odbiorcą mleka jest Hochland Węgrów.

5.2.1. System chowu i system utrzymania w oborze w gospodarstwie nr 2

Jest to obora wolnostanowiskowa z głęboką ściółką dla 88 DJP krów. Legowiska dla krów mlecznych oddzielone od asymetrycznego korytarza paszowego obszarem paszowym z kanałem gnojowicowym przykrytym podłogą szczelinową. Po drugiej stronie korytarza paszowego legowiska na głębokiej ściółce dla krów zasuszonych i młodzięży. Dojarnia z pomieszczeniem na mleko i socjalnym sąsiaduje z kojcami dla cieląt. Zwierzęta żywione są cały rok w oborze. Ściany z bloczków gazobetonowych. Budynek jest zaprojektowany jako hala pięcionawowa. Konstrukcja nośna dachu – słupy i podciągi stalowe. Słupy stalowe średnicy 197,3 mm ustawione są w 4 rzędach, na których ułożono podciągi stalowe ze stali dwuteowej 180. Na podciągach oraz ścianach zewnętrznych ułożono krokwie drewniane o wymiarach 8 x 16 cm. Kąt pochylenia połaci dachowej wynosi 18°. Strop jest wykonany z pianki poliuretanowej pokrytej folią aluminiową. Grubość płyty 5 mm. Na krokwiach o wymiarach 8x16 umieszczono płatnie drewniane o wymiarach 12x12 cm. Do płatni przy mocowano blachę fałdową powlekaną.

5.2.2. Zagospodarowanie działki w gospodarstwie nr 2.

Działka zagrodowa jest w zabudowie zwartej wsi, gospodarstwo ma powierzchnię 75 ha. Kształt działki jest prostokątny. Powierzchnia terenu piaszczysta, równa i pozioma. Działka graniczy z wiejską drogą utwardzoną, z gospodarstwami prowadzącymi działalność rolną oraz z gruntami rolnymi i właściciela. Zabudowa sięga 200 m od wiejskiej drogi. W zabudowie działki trudno wyróżnić sektory. Najbliżej drogi wiejskiej zlokalizowany jest budynek mieszkalny (1), w głębi działki umieszczono budynek gospodarczy (2), inwentarski (4), a następnie budynek składowy (3). Za tym kompleksem budynków zlokalizowano budynek inwentarski A dla krów mlecznych oraz budynek – garaż dla ciągnika i sprzętu (2). Za budynkiem obory znajdują się silosy naziemne na kiszonki (5). Wybiegi dla krów (6) znajdują się w pasie wzdłuż po obydwu stronach, między oborą a granicą działki oraz między oborą a drogą wewnętrzną.

Powierzchnie działki, budynków i budowli:

• Powierzchnia działki	9200,0 m ²
• Powierzchnia budynku inwentarskiego – obora	1220,0 m ²
• Powierzchnia wybiegu utwardzonego (beton)	200,0 m ²
• Powierzchnia wybiegu inwentarskiego	450,0 m ²
• Powierzchnia budynku mieszkalnego	161,0 m ²
• Powierzchnia budynków gospodarczych	813,0 m ²
• Powierzchnia silosów	672,0 m ²
• Powierzchnia dróg i placów	2081,0 m ²

Powierzchnia działki zagrodowej	$F_c = 9200,0 \text{ m}^2$
Powierzchnia zabudowy	$F_z = 3616,0 \text{ m}^2$
Powierzchnia komunikacyjna	$F_k = 2081,0 \text{ m}^2$
Powierzchnia biologicznie czynna	$F_u = 3603,0 \text{ m}^2$

Wskaźnik intensywności zabudowy J

$$J = \frac{F_z}{F_c} = \frac{3516}{9200} = 0,382$$

Wskaźnik wykorzystania powierzchni W

$$W = \frac{F_z + F_k}{F_c} = \frac{3516 + 2081}{9200} = 0,608$$

Wskaźnik powierzchni biologicznie czynnej

$$BB = \frac{F_u}{F_c} = \frac{3603}{9200} = 0,392$$

5.2.3. Charakterystyka techniczno-ekonomiczna obory w gospodarstwie nr 2.

Wartości oceny elementów technicznych są przedstawione w tabeli 5.5.

Tabela 5.5. Zestawienie wartości technicznych badanego obiektu obory nr 2

Parametr									
x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅	x ₆	x ₇	x ₈	x ₉	x ₁₀
Wartość									
6,54	1,52	2,56	1,04	1,51	77,73	3,47	n.d.	n.d.	0,113

Parametr									
x ₁₁	x ₁₂	x ₁₃	x ₁₄	x ₁₅	x ₁₆	x ₁₇	x ₁₈	x ₁₉	
Wartość									
0,35	0,78	13,86	13,58	12,37	0,16	1,24	0,16	1,24	

Przyjęte oznaczenia:

- x_1 – jednostkowa powierzchnia legowisk [$m^2 \cdot DJP^{-1}$];
- x_2 – jednostkowa powierzchnia korytarzy gnojowych [$m^2 \cdot DJP^{-1}$];
- x_3 – jednostkowa powierzchnia korytarza paszowego [$m^2 \cdot DJP^{-1}$];
- x_4 – jednostkowy wymiar obszaru dostępu do paszy [$m \cdot DJP^{-1}$];
- x_5 – jednostkowa powierzchnia podłogi szczelinowej [$m^2 \cdot DJP^{-1}$];
- x_6 – kubatura obiektu [$m^3 \cdot DJP^{-1}$];
- x_7 – jednostkowa pojemność magazynowania nawozu płynnego–zbiornika gnojówki i gnojowicy [$m^3 \cdot DJP^{-1}$];
- x_8 – jednostkowa pojemność magazynowania nawozu stałego [$m^3 \cdot DJP^{-1}$];
- x_9 – jednostkowa powierzchnia składowania nawozu stałego [$m^2 \cdot DJP^{-1}$];
- x_{10} – jednostkowa pojemność zbiornika na wody technologiczne [$m^3 \cdot DJP^{-1}$];
- x_{11} – jednostkowa powierzchnia pomieszczenia na mleko [$m^2 \cdot DJP^{-1}$];
- x_{12} – jednostkowa powierzchnia pomieszczeń pomocniczych [$m^2 \cdot DJP^{-1}$];
- x_{13} – powierzchnia zabudowy [$m^2 \cdot DJP^{-1}$];
- x_{14} – powierzchnia użytkowa [$m^2 \cdot DJP^{-1}$];
- x_{15} – powierzchnia produkcyjna [$m^2 \cdot DJP^{-1}$];
- x_{16} – powierzchnia okien [$m^2 \cdot DJP^{-1}$];
- x_{17} – powierzchnia świetlika kalenicowego [$m^2 \cdot DJP^{-1}$];
- x_{18} – powierzchnia kanałów nawiewnych [$m^2 \cdot DJP^{-1}$];
- x_{19} – powierzchnia kanałów wywiewnych [$m^2 \cdot DJP^{-1}$].

5.2.4. Opis warunków środowiskowych w oborze gospodarstwa nr 2

Oświetlenie

Stolarka okienna wykonana jest z PCV. Wymiary okien 120x75 cm. W budynku zamontowano szt. 13 uchylnych okien. 8 szt. po stronie dojarni oraz 5 szt. po stronie przeciwnej. W otworach okiennych brak jest okapów odprowadzających wykraplającą się parę wodną poza obszar ścian. Powierzchnia okien wynosi 14,58 m², a powierzchnia świetlika dachowego 109,20 m², co powoduje, że oświetlenie naturalne jest wystarczające. W budynku o powierzchni 1168 m² zainstalowano 24 szt. jarzeniówek o mocy

20 W każda, czyli łącznie 480 W. Wskaźnik oświetlenia wynosi 0,41 W/m² i jest niewystarczający. Według normatywu, oświetlenie w hali zwierząt powinno wynosić 100 lux. Można to osiągnąć stosując wskaźnik 2-3 W/m² światła jarzeniowego. Brakuje również rozwiązania płynnej regulacji natężenia oświetlenia.

Wentylacja

Wentylacja w oborze odbywa się otworami nawiewnymi, którymi są okna (przy maksymalnym otwarciu okien powierzchnia wynosi otworów wynosi 14,58 m². Dla zalecanej prędkości przepływu powietrza 0,3 m/s. Ilość napływu powietrza świeżego wynosi: 14,58 m² x 0,3 m/s x 3600 s/godz. = 15746 m³/godz. Dla max. obsady 90 DJP ilość świeżego powietrza w okresie letnim powinna wynosić 90 DJP x 450 m³/godz. DJP = 40500 m³/godz. Skuteczność jest niska i pokrywa zapotrzebowanie w ok. 39%.

Wartości parametrów mikroklimatu w oborze gospodarstwa nr 2 przedstawia tabela 5.6.

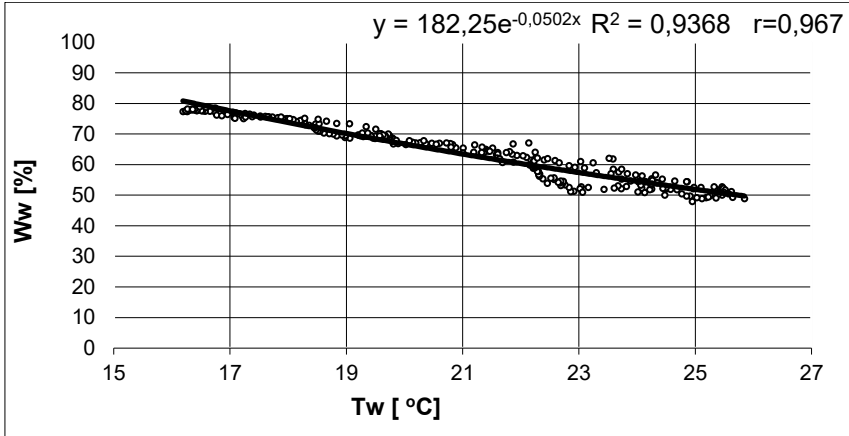
Tabela 5.6. Wartości wskaźników mikroklimatycznych w oborze gospodarstwa nr 2

Obiekt nr 2	Wskaźnik mikroklimatu								
	w ₁	w ₂	w ₃	w ₄	w ₅	w ₆	w ₇	w ₈	w ₉
średnia	21,05	18,26	69,3	64,01	715,2	3,23	0,16	606,5	21,22
zakres	16,19-25,8	11,4-25,2	56,1-88,2	47,9-78,8	400-1200	1,6-6,6			

gdzie:

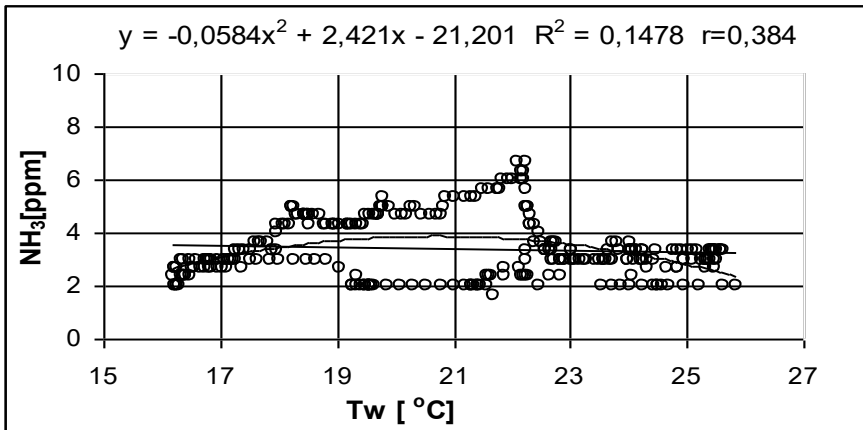
- w₁ – temperatura powietrza na zewnątrz budynku [°C];
- w₂ – temperatura wewnątrz budynku [°C];
- w₃ – wilgotność względna powietrza na zewnątrz budynku [%];
- w₄ – wilgotność względna powietrza wewnątrz budynku [%];
- w₅ – stężenie dwutlenku węgla CO₂ [ppm];
- w₆ – stężenie amoniaku NH₃[ppm];
- w₇ – średnia prędkość powietrza [m·s⁻¹];
- w₈ – średnia wymiana powietrza [m³·DJP⁻¹·h⁻¹];
- w₉ – oświetlenie pomieszczeń inwentarskich [Lx].

Rysunek 5.5 przedstawia zależność wykładniczą między temperaturą a wilgotnością względną powietrza wewnątrz obory nr 2. Temperatura wewnątrz oraz stężenia gazów amoniaku i dwutlenku węgla wykazują zbyt małą korelację ujemną (rysunki 5.6 i 5.7).



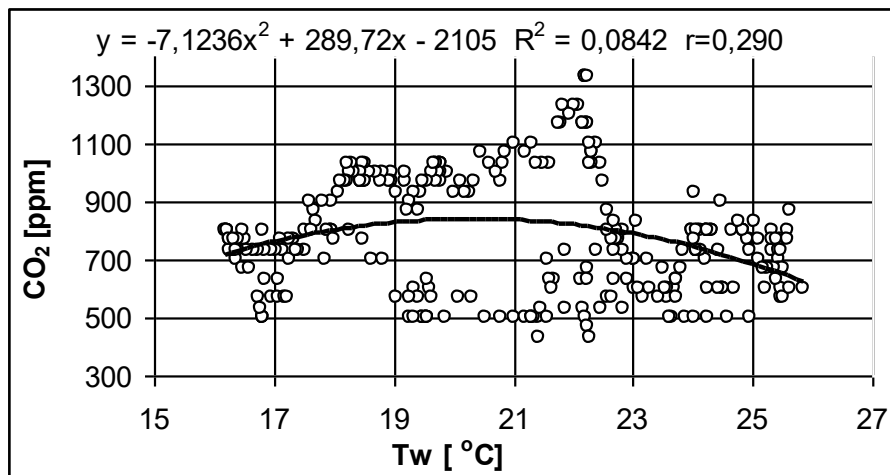
Rys. 5.5. Zależność między temperaturą a wilgotnością względną powietrza wewnątrz obory nr 2. według funkcji wykładniczej.

Liczba stopni swobody $n-1 = 288$; $P = 0,01$



Rys. 5.6. Zawartość amoniaku w zależności od temperatury wewnątrz obory nr 2.

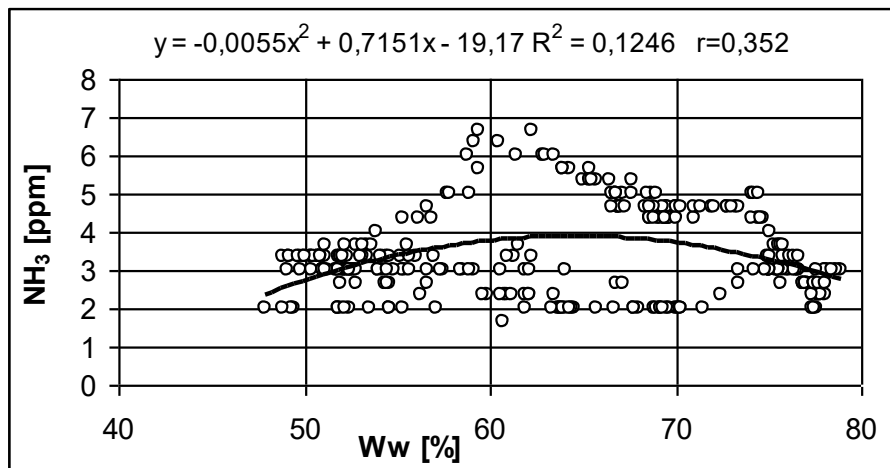
Liczba stopni swobody $n-1 = 288$, $P = 0,01$



Rys. 5.7. Zawartość dwutlenku węgla w zależności od temperatury wewnątrz obory nr 2.

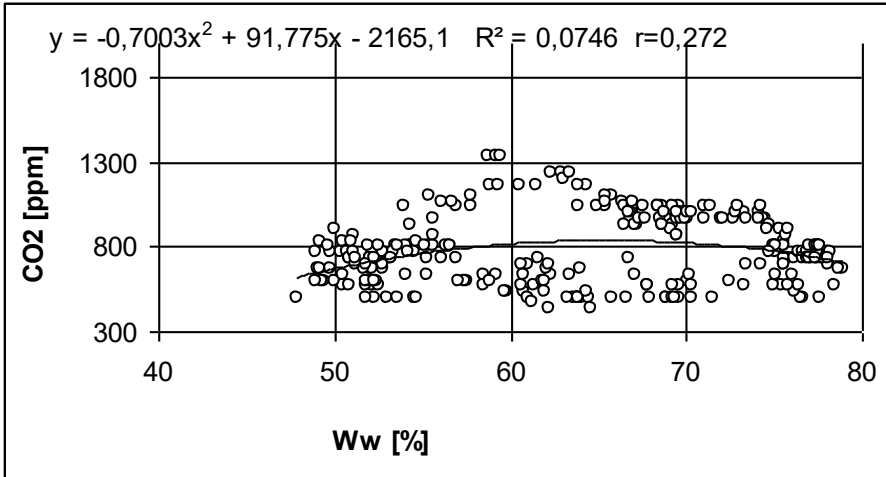
Liczba stopni swobody n-1 = 288, P = 0,01

Z ostrożnością należy traktować także wyniki analizy korelacji między stężeniem tych gazów a wilgotnością względną powietrza wewnątrz (rys. 5.8 i 5.9).



Rys. 5.8. Zależność stężenia amoniaku i wilgotności względnej powietrza wewnątrz obory nr 2.

Liczba stopni swobody n-1 = 288, P = 0,01

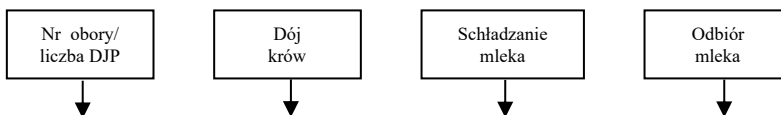


Rys. 5.9. Zależność stężenia dwutlenku węgla i wilgotności względnej powietrza wewnątrz obory nr 2.
Liczba stopni swobody $n-1 = 288$, $P = 0,01$

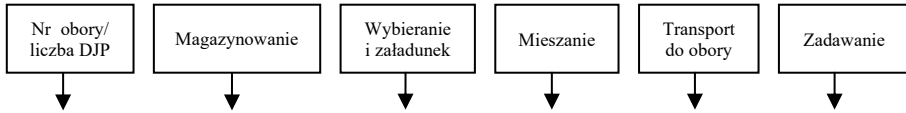
Temperatura powietrza nieznacznie przekraczała zalecane 25°C , jednak pozostałe wartości zmiennych mikroklimatu mieściły się w granicach zalecanych przez przepisy [Rozporządzenie MRiRW 2010 i Standardy dla gospodarstw rolnych ROMANIUK, OVERBY 2005].

5.2.5. Opis procesu technologicznego w oborze gospodarstwa nr 2

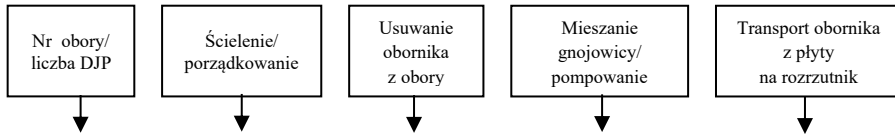
Schemat blokowy czynności wykonywanych w ramach zabiegu doju i wstępnej obróbki mleka przedstawiono na rysunku 5.10, a dla kolejnych zabiegów na rysunkach 5.11 i 5.12.



Rys. 5.10. Schemat blokowy zabiegu doju i wstępnej obróbki mleka w oborze gospodarstwa nr 2



Rys. 5.11. Schemat blokowy zabiegu przygotowania i zadawania pasz w oborze gospodarstwa nr 2



Rys. 5.12. Schemat blokowy zabiegu usuwania i magazynowania nawozów naturalnych w oborze gospodarstwa nr 2

Zabieg I – doju i wstępnej obróbki mleka

Dój odbywa się w dojarni typu „rybia ość” 2x5 stanowisk, mieszczącej się w hali głównej krów. Krowy dojne przechodzą ze swojego sektora, poprzez poczekalnię do dojarni, stanowiącej element przybudowany prostopadle do budynku głównego. Powrót następuje korytarzem powrotnym. W osobnym pomieszczeniu mleko magazynowane jest w schładzarce zbiornikowej o pojemności 2500 dm³.

Zabieg II – przygotowania i zadawania pasz

Przedmiotem badań była obora w cyklu zamkniętym wolnostanowiskowa na głębokiej ściółce z podłogą szczelinową w strefie paszowej. Obsada w czasie badań wynosiła 76 krów dojnych. Jest to obora dwurzędowa z jednym, środkowym korytarzem paszowym. Korytarz paszowy oddziela od pomieszczeń dla zwierząt drabina paszowa samozatraskowa 56 stanowiskowa u krów dojnych i 49 u krów zasuszonych, jałówek, cieląt.

Zwierzęta w okresie lata korzystają z wybiegów. Pasza, w skład której wchodzi kiszonka z kukurydzy, sianokiszonka oraz pełna dawka pasz treściwych (tzw. TMR – pasza pełnoporcjowa), przygotowywana i zadawana jest przy użyciu przyczepy paszowej Keenan o pojemności 18 m³ napędzanej cią-

gnikiem Fendt 614/S Favorit. Paszę przygotowuje i zadaje 1 osoba. Do pojenia krów służą poidła stało poziomowe. Latem i zimą zwierzęta otrzymują sianokiszonki, kiszonka z kukurydzy, pasze treściwe.

Zabieg III – usuwanie i magazynowanie nawozu naturalnego

W oborze znajdują się legowiska na głębokiej ściółce o głębokości 80 cm. Po drugiej stronie przejazdowego korytarza paszowego jest rząd koj-ców zbiorowych dla młodzieży, również na głębokiej ściółce o głębokości 60 cm. Obornik jest wywożony trzy razy w roku z obory na płytę obornikową oraz dwukrotnie w ciągu roku na pola przy pomocy ciągnika z ładowaczem TUR.

Zabieg IV – prace różne

W oborze znajdują się automatyczne czochradła. Do pielęgnacji racic stosowany jest dekornizator. Obora poddawana jest czyszczeniu i dezynfekcji jeden raz w roku a malowaniu raz na cztery lata.

Tabela 5.6 przedstawia wielkości nakładów robocizny, energii elektrycznej, mechanicznej, zużycie oleju napędowego w oborze gospodarstwa nr 2 na zabiegi technologiczne.

Tabela 5.6. Wartości technologiczne charakteryzujące badaną oborę w gospodarstwie nr 2

Parametr									
y_1	y_{1a}	y_{1b}	y_{1c}	y_2	y_{2a}	y_{2b}	y_{2c}	y_{2d}	y_{3a}
Wartość									
96,027	23,847	5,252	66,928	261,24	248,862	0	0	12,378	0

Parametr									
y_{3b}	y_4	y_5	y_6	y_{6a}	y_{6b}	y_7	y_{7a}	y_{7b}	
Wartość									
0	0	37,591	569,148	334,72	234,428	60,119	44,447	15,672	

Przyjęte oznaczenia:

- y_1 – jednostkowe roczne nakłady robocizny na zabiegi produkcyjne [$\text{rbh}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1} \cdot \text{DJP}^{-1}$];
- y_{1a} – jednostkowe roczne nakłady robocizny na dój i wstępną obróbkę mleka
[$\text{rbh}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1} \cdot \text{DJP}^{-1}$];
- y_{1b} – jednostkowe roczne nakłady robocizny na przygotowanie i zadawanie pasz
[$\text{rbh}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1} \cdot \text{DJP}^{-1}$];
- y_{1c} – jednostkowe roczne nakłady robocizny na usuwanie i magazynowanie nawozów naturalnych [$\text{rbh}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1} \cdot \text{DJP}^{-1}$];
- y_2 – jednostkowe roczne nakłady energii elektrycznej na zabiegi produkcyjne
[$\text{kWh} \cdot \text{rok}^{-1} \cdot \text{DJP}^{-1}$];
- y_{2a} – jednostkowe roczne nakłady energii elektrycznej na dój i wstępną obróbkę mleka
[$\text{kWh} \cdot \text{rok}^{-1} \cdot \text{DJP}^{-1}$];
- y_{2b} – jednostkowe roczne nakł. energii elektrycznej na przygotowanie i zadawanie pasz
[$\text{kWh} \cdot \text{rok}^{-1} \cdot \text{DJP}^{-1}$];
- y_{2c} – jednostkowe roczne nakł. energii elektrycznej na usuwanie i magazynowanie nawozów naturalnych [$\text{kWh} \cdot \text{rok}^{-1} \cdot \text{DJP}^{-1}$];
- y_{2d} – jednostkowe roczne nakł. energii elektrycznej na prace różne [$\text{kWh} \cdot \text{rok}^{-1} \cdot \text{DJP}^{-1}$];
- y_{3a} – jednostkowe roczne nakłady energii elektrycznej ze źródeł OZE na zabieg I
[$\text{kWh} \cdot \text{rok}^{-1} \cdot \text{DJP}^{-1}$];
- y_{3b} – jednostkowe roczne nakłady energii elektrycznej ze źródeł OZE na zabieg II
[$\text{kWh} \cdot \text{rok}^{-1} \cdot \text{DJP}^{-1}$];
- y_4 – jednostkowe roczne nakłady energii elektrycznej na wentylację [$\text{kWh} \cdot \text{rok}^{-1} \cdot \text{DJP}^{-1}$];
- y_5 – jednostkowe roczne nakłady energii elektrycznej na oświetlenie [$\text{kWh} \cdot \text{rok}^{-1} \cdot \text{DJP}^{-1}$];
- y_6 – jednostkowe roczne nakłady energii mechanicznej na zabiegi produkcyjne
[$\text{kWh} \cdot \text{rok}^{-1} \cdot \text{DJP}^{-1}$];
- y_{6a} – jednostkowe roczne nakłady energii mechanicznej na zabieg II [$\text{kWh} \cdot \text{rok}^{-1} \cdot \text{DJP}^{-1}$];
- y_{6b} – jednostkowe roczne nakłady energii mechanicznej na zabieg III [$\text{kWh} \cdot \text{rok}^{-1} \cdot \text{DJP}^{-1}$];
- y_7 – jednostkowe roczne zużycie paliw płynnych na poszczególne zabiegi (zadawania pasz, usuwania nawozów naturalnych i ścielenia) [$\text{dm}^3 \cdot \text{rok}^{-1} \cdot \text{DJP}^{-1}$];
- y_{7a} – jednostkowe roczne zużycie paliw płynnych na zabieg II [$\text{dm}^3 \cdot \text{rok}^{-1} \cdot \text{DJP}^{-1}$];
- y_{7b} – jednostkowe roczne zużycie paliw płynnych na zabieg III [$\text{dm}^3 \cdot \text{rok}^{-1} \cdot \text{DJP}^{-1}$].

5.2.6. Określenie jednostkowych kosztów eksploatacji

W tabeli 5.7 przedstawiono koszty eksploatacji maszyn i urządzeń w poszczególnych zabiegach technologicznych oraz budynku obory w gospodarstwie nr 2, a w tabeli 5.8 wartości zmiennych ekonomicznych.

Tabela 5.7. Koszty eksploatacji i wyposażenia technicznego w oborze gospodarstwa nr 2

Parametr	k_{e1}	k_{e2}	k_{e3}	k_{e4}	k_{eb}
Koszt	936,26	982,19	212,70	0,34	205,85

gdzie:

k_{e1} – jednostkowe koszty eksploatacji maszyn i urządzeń w zabiegu I [$\text{zł}\cdot\text{rok}^{-1}\cdot\text{DJP}^{-1}$];

k_{e2} – jednostkowe koszty eksploatacji maszyn i urządzeń w zabiegu II, [$\text{zł}\cdot\text{rok}^{-1}\cdot\text{DJP}^{-1}$];

k_{e3} – jednostkowe koszty eksploatacji maszyn i urządzeń w zabiegu III, [$\text{zł}\cdot\text{rok}^{-1}\cdot\text{DJP}^{-1}$];

k_{e4} – koszty eksploatacji maszyn i urządzeń w zabiegu IV, [$\text{zł}\cdot\text{rok}^{-1}\cdot\text{DJP}^{-1}$];

k_{eb} – koszty eksploatacji budynku, [$\text{zł}\cdot\text{rok}^{-1}\cdot\text{DJP}^{-1}$].

Tabela 5.8. Wartości ekonomiczne badanego obiektu – obory w gospodarstwie nr 2

Parametr	z_1	z_2	z_3	z_4	z_5	z_6	z_7	z_8
Koszt	8255,44	220,0	1060,0	5123,0	1650,0	185,16	0	0
Parametr	z_9	z_{10}	z_{11}	z_{12}	z_{13}	z_{14}	z_{15}	
Koszt	4,95	22,62	52,27	357,70	78,78	1003,92	42,9	

Przyjęte oznaczenia:

z_1 – jednostkowy koszt inwestycyjny obiektu (budynku bez wyposażenia [$\text{zł}\cdot\text{DJP}^{-1}$];

z_2 – jednostkowy koszt ubezpieczenia obiektu (budynku) [$\text{zł}\cdot\text{DJP}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$];

z_3 – koszty maszyn i urządzeń do mechanizacji zabiegu I [$\text{zł}\cdot\text{DJP}^{-1}$];

z_4 – koszty maszyn i urządzeń do mechanizacji zabiegu II [$\text{zł}\cdot\text{DJP}^{-1}$];

z_5 – koszty maszyn i urządzeń do mechanizacji zabiegu III [$\text{zł}\cdot\text{DJP}^{-1}$];

z_6 – z_9 – jednostkowy koszt energii elektrycznej z zabiegów [$\text{zł}\cdot\text{rok}^{-1}\cdot\text{DJP}^{-1}$];

z_{10} – koszt ubezpieczenia maszyn do mechanizacji zabiegu II [$\text{zł}\cdot\text{rok}^{-1}\cdot\text{DJP}^{-1}$];

z_{11} – koszt ubezpieczenia maszyn do mechanizacji zabiegu III [$\text{zł}\cdot\text{rok}^{-1}\cdot\text{DJP}^{-1}$];

z_{12} – koszt robocizny w zabiegu doju (I) [$\text{zł}\cdot\text{DJP}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$] [$\text{zł}\cdot\text{DJP}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$];

z_{13} – koszt robocizny w zabiegu żywienia (II) [$\text{zł}\cdot\text{DJP}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$];

z_{14} – koszt robocizny w zabiegu usuwanie i magazynowanie nawozu (III) [zł·DJP⁻¹·rok⁻¹];

z_{15} – koszt robocizny w zabiegu prace różne (IV)) [zł·DJP⁻¹·rok⁻¹].

5.3. Opis gospodarstwa nr 3 oraz budynku inwentarskiego stanowiącego przedmiot badań

Gospodarstwo jest położone na terenie województwa podlaskiego. Obszar gospodarstwa wynosi 65 ha w tym 20 ha dzierżawa. W oborze przeznaczonej na 80-100 DJP była są utrzymywane krowy mleczne rasy ph-f, natomiast zwierzęta młodsze, tj. jałówki i byczki są utrzymywane w osobnym budynku. Obora dla krów została specjalnie zaprojektowana wybudowana pod robota udojowego. Średnia roczna wydajność mleczna stada wynosi 9500 litrów mleka klasy ekstra. Mleko jest oddawane do OSM Piątница.

5.3.1. System chowu i system utrzymania w oborze w gospodarstwie nr 3

Jest to obora boksowa, bezściółkowa. Utrzymanie na materacach z elastycznej gumy. W korytarzach gnojowo-spacerowych oraz na obszarze paszowym i sektorze robota udojowego są podłogi szczelinowe (ruszty). Gnojowica składowana jest pod podłogą w kanałach, a nadmiar usuwany do zbiornika na zewnątrz częściowo zagłębionego. Przejezdny korytarz paszowy oddziela sektor krów mlecznych od sektora dla krów zasuszonych oraz jałówek starszych. Krowy mleczne wypoczywają w boksach na materacach z elastycznej gumy. Błędem natomiast jest utrzymanie krów zasuszonych w kojcu zbiorowym na podłodze szczelinowej bez wydzielonych boksów. Odchody w postaci kału i moczu są przydeptywane do głębokich kanałów. W oborze wydzielono sektor dla krów odseparowanych. Obora trzyczędowa, z jednym rzędem boksów przyległych, jednym przyściennym, z asymetrycznym korytarzem paszowym. Konstrukcja nośna dachu stalowa, słupy stalowe, ściany z bloczków gazobetonowych na zaprawie wapienno cementowej.

5.3.2. Zagospodarowanie działki w gospodarstwie nr 3

Powierzchnia gospodarstwa wynosi 65 ha. Działka zagrodowa mieści się w zwartej zabudowie wsi. Działka ma kształt prostokąta, powierzchnia terenu z lekkim pochyleniem w kierunku pół sprzyja naturalnemu odwodnieniu. Budynek inwentarski – oborę, zlokalizowano o osi podłużnej w kierunku PN-PD z odchyleniem 20⁰. Działka przylega jednym bokiem do utwardzonej drogi wiejskiej o nawierzchni asfaltowej. Dwoma bokami przylega do działek zagrodowych sąsiadów, natomiast pozostałym bokiem przylega do gruntów własnych.

W zabudowie można wyraźnie wydzielić dwa sektory:

- a) mieszkalny zlokalizowany najbliżej drogi wiejskiej,
- b) usługowy zintegrowany z sektorem produkcji zwierzęcej

Zabudowa sektorów tworzy podwórze o powierzchni utwardzonej z kostki betonowej.

Sektor produkcji zwierzęcej oraz sektor usługowy obejmuje zabudowę w postaci:

- obiektu inwentarskiego – obory,
- obiektu gospodarczego – zespołu garaży,
- obiektu gospodarczego,
- placu postojowego maszyn i narzędzi,
- zbiornika częściowo-zagłębionego na gnojowicę,
- wybiegu dla krów.

Na terenie gospodarstwa pasza treściwa magazynowana jest w silosach. Sianokiszonki magazynowane są na obszarze gruntów rolnych poza siedliskiem. Organizacja pracy na terenie działki zagrodowej jest poprawna. Od strony podwórza zlokalizowana jest część czysta (magazyn mleka, zbiorniki na pasze treściwą i komponenty). Po stronie przeciwnej budynku obory zlokalizowano część „brudną” (zbiornik na gnojowicę, zbiornik z miesadłem do gnojowicy, wyjście krów na wybieg oraz wybieg w fazie kształtowania terenu). Zbiornik na gnojowicę typu „otwarty” stanowi rezerwę i przejmuje nadmiar gromadzonej pod rusztami gnojowicy, pojemność zbiornika 325 m. Wybieg – jest wyгородzoną powierzchnią w południowej części działki zagro-

dowej. Powierzchnia nie jest utwardzona i brak infrastruktury dla przebywających na wybiegu krów jak np. zadaszenia przed słońcem, wodopoju. Brak zieleni w sektorze produkcji zwierzęcej, brak izolacji działek sąsiednich.

Powierzchnie działki, budynków i budowli:

• Powierzchnia działki	7888 m ²
• Budynek inwentarski – obora	1240 m ²
• Zbiornik na gnojowicę, ϕ zewn.	15,1 m
• Zbiornik na pasze	20 m ²
• Budynek mieszkalny	134 m ²
• Budynki gospodarcze	563 m ²
• Płyta postojowa maszyn i sprzętu	140 m ²
• Powierzchnia dróg i placów	1644 m ²

Powierzchnia działki zagrodowej	$F_c = 7888 \text{ m}^2$
Powierzchnia zabudowy	$F_z = 2116 \text{ m}^2$
Powierzchnia komunikacyjna	$F_k = 1644 \text{ m}^2$
Powierzchnia biologicznie czynna	$F_u = 4128 \text{ m}^2$

Wskaźnik intensywności zabudowy

$$J = \frac{F_z}{F_c} = \frac{2116}{7888} = 0,27$$

Wskaźnik wykorzystania powierzchni

$$W = \frac{F_z + F_k}{F_c} = \frac{2116 + 1644}{7888} = 0,48$$

Wskaźnik powierzchni biologicznie czynnej

$$B = \frac{F_u}{F_c} = \frac{4128}{7888} = 0,52$$

5.3.3. Charakterystyka techniczno-ekonomiczna obory w gospodarstwie nr 3.

Wartości oceny elementów technicznych są przedstawione w tabeli 5.9.

Tabela 5.9. Zestawienie wartości technicznych badanej obory w gospodarstwie nr 3

Parametr									
x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}
Wartość									
1,104	6,15	2,43	0,509	6,075	74,43	6,73	n.d.	n.d.	n.d.

Parametr									
x_{11}	x_{12}	x_{13}	x_{14}	x_{15}	x_{16}	x_{17}	x_{18}	x_{19}	
Wartość									
0,215	1,15	15,6	13,62	13,0	0,682	0,99	0,682	0,192	

Przyjęte oznaczenia:

- x_1 – jednostkowa powierzchnia legowisk [$m^2 \cdot DJP^{-1}$];
- x_2 – jednostkowa powierzchnia korytarzy gnojowych [$m^2 \cdot DJP^{-1}$];
- x_3 – jednostkowa powierzchnia korytarza paszowego [$m^2 \cdot DJP^{-1}$];
- x_4 – jednostkowy wymiar obszaru dostępu do paszy [$m \cdot DJP^{-1}$];
- x_5 – jednostkowa powierzchnia podłogi szczelinowej [$m^2 \cdot DJP^{-1}$];
- x_6 – kubatura obiektu [$m^3 \cdot DJP^{-1}$];
- x_7 – jednostkowa pojemność magazynowania nawozu płynnego–zbiornika gnojówki i gnojowicy [$m^3 \cdot DJP^{-1}$];
- x_8 – jednostkowa pojemność magazynowania nawozu stałego [$m^3 \cdot DJP^{-1}$];
- x_9 – jednostkowa powierzchnia składowania nawozu stałego [$m^2 \cdot DJP^{-1}$];
- x_{10} – jednostkowa pojemność zbiornika na wody technologiczne [$m^3 \cdot DJP^{-1}$];(przy bydle mlecznym)
- x_{11} – jednostkowa powierzchnia pomieszczenia na mleko [$m^2 \cdot DJP^{-1}$];
- x_{12} – jednostkowa powierzchnia pomieszczeń pomocniczych [$m^2 \cdot DJP^{-1}$];
- x_{13} – powierzchnia zabudowy [$m^2 \cdot DJP^{-1}$];
- x_{14} – powierzchnia użytkowa [$m^2 \cdot DJP^{-1}$];
- x_{15} – powierzchnia produkcyjna [$m^2 \cdot DJP^{-1}$];
- x_{16} – powierzchnia okien [$m^2 \cdot DJP^{-1}$];

x_{17} – powierzchnia świetlika kalenicowego [$m^2 \cdot DJP^{-1}$];

x_{18} – powierzchnia kanałów nawiewnych [$m^2 \cdot DJP^{-1}$];

x_{19} – powierzchnia kanałów wywiewnych [$m^2 \cdot DJP^{-1}$].

5.3.4. Opis warunków środowiskowych w oborze gospodarstwa nr 3

Oświetlenie

Otwory okienne wykonane są w każdej ze ścian podłużnych i przysłaniające są oknami z płyty poliwęglanowej. Okna umieszczone są w prowadnicach zamontowanych do zewnętrznej ściany. W zależności od potrzeb okna można przesuwac w kierunku góra – dół przysłaniając otwór okienny. Powierzchnia okien wynosi $51,21 \text{ cm}^2$ co stanowi 4% powierzchni podłogi budynku. Doświetlenie budynku o rozpiętości 26,4 m następuje dodatkowo przez świetlik dachowy, zamontowany w kalenicy o szer. 2,6 m na długości 28,8 m. Powierzchnia świetlika wynosi $74,88 \text{ m}^2$, co stanowi 6% powierzchni podłogi budynku i jest wystarczające dla spełnienia zaleceń standardów.

W obiekcie zainstalowano halogenowe oświetlenie 4 lampami. Jest to złe rozwiązanie z uwagi na brak możliwości regulacji natężenia oświetlenia. Lampy halogenowe nie dają światła rozproszonego. W oborach powinno być zastosowane oświetlenie robocze, orientacyjne i mocne z regulowanym natężeniem w granicach od 100 do 5 luxów.

Wentylacja

Wykonano systemy wentylacji grawitacyjnej, gdzie elementem nawiewnym są otwory o max. powierzchni $51,21 \text{ m}^2$. Elementem wywiewnym jest świetlik dachowy ze szczeliną wentylacyjną o wysokości 25 cm, o długości 28,80 m. Powierzchnia otworów wywiewnych wynosi $14,40 \text{ m}^2$. Skuteczność systemu wentylacji jest dobra. Przy zalecanej prędkości przepływu $0,3 \text{ m/s}$ ilość odprowadzanego powietrza wynosi $15552 \text{ m}^3 \cdot \text{godz}^{-1}$ dla obsady 90 DJP. Na 1 DJP ilość napływu świeżego powietrza wynosi $172 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. W okresie podwyższonych temperatur można zintensyfikować przepływ powietrza przez całkowite odsłonięcie otworów okiennych. Wówczas powierzchnia otworów nawiewnych będzie prawie czterokrotnie większa od powierzchni

otworów wywiewnych. Tabela 5.10 przedstawia wartości wskaźników mikroklimatu w oborze gospodarstwa nr 3.

Tabela 5.2. Wartości wskaźników mikroklimatycznych w oborze* gospodarstwa nr 3

Obiekt nr 3	Wskaźnik								
	w ₁	w ₂	w ₃	w ₄	w ₅	w ₆	w ₇	w ₈	w ₉
średnia	18,32	17,72	59,25	68,8	665,50	6,1	0,2	104,39	124,25
zakres	12- 23	11,9- 21,8	38,10- 91	46,0- 93,0	300- 1500	2,3- 13,6			

* **Obora wolnostanowiskowa, boksowa, ściółkowa**

gdzie:

w₁ – temperatura powietrza na zewnątrz budynku [°C];

w₂ – temperatura wewnątrz budynku [°C];

w₃ – wilgotność względna powietrza na zewnątrz budynku [%];

w₄ – wilgotność względna powietrza wewnątrz budynku [%];

w₅ – stężenie dwutlenku węgla CO₂ [ppm];

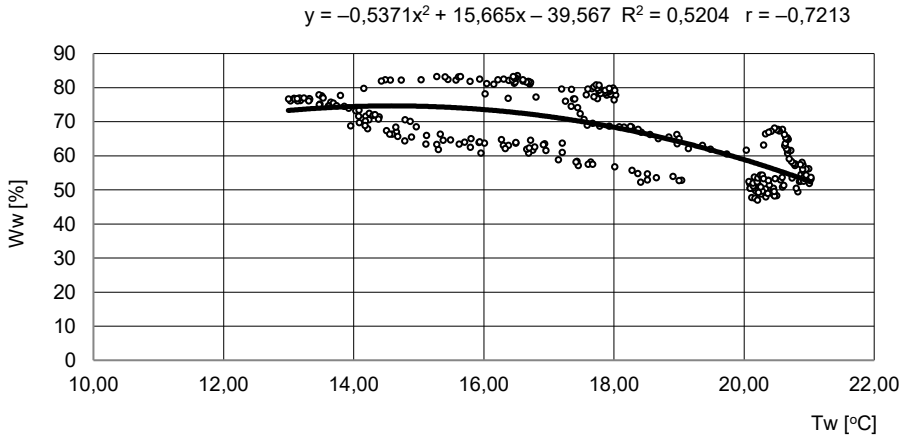
w₆ – stężenie amoniaku NH₃[ppm];

w₇ – średnia prędkość powietrza [m·s⁻¹];

w₈ – średnia wymiana powietrza [m³·DJP⁻¹·h⁻¹];

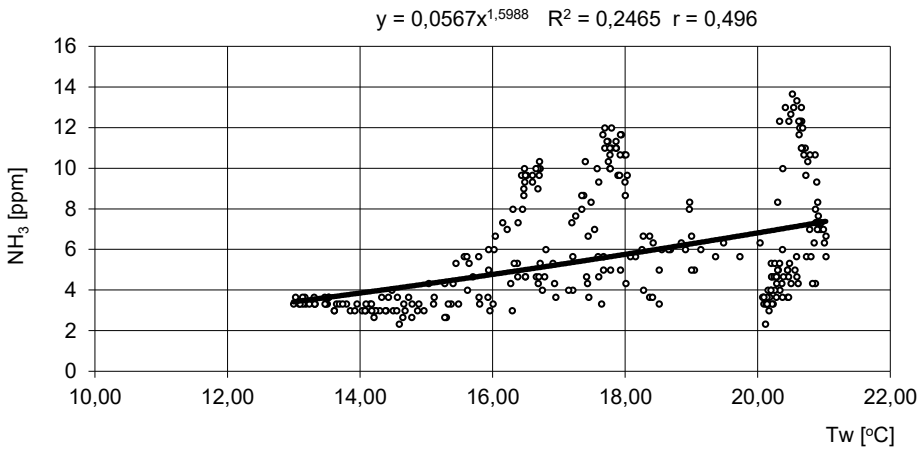
w₉ – oświetlenie pomieszczeń inwentarskich [Lx].

Temperatura powietrza, wilgotność względna powietrza, prędkość ruchu powietrza, stężenie dwutlenku węgla oraz amoniaku a także natężenie oświetlenia naturalnego w oborze wolnostanowiskowej boksowej bezściółkowej mieściły się w granicach zalecanych wartości. W oborze stwierdzono wysoce istotną zależność między temperaturą a wilgotnością względną powietrza wewnątrz (rys. 5.13). Jedynie w tej oborze stwierdzono dodatnie zależności między stężeniem amoniaku i dwutlenku węgla a temperaturą wewnątrz, wobec niezbyt wysokich temperatur wewnątrz budynku. Ilustrują to rysunki 5.14 i 5.15.



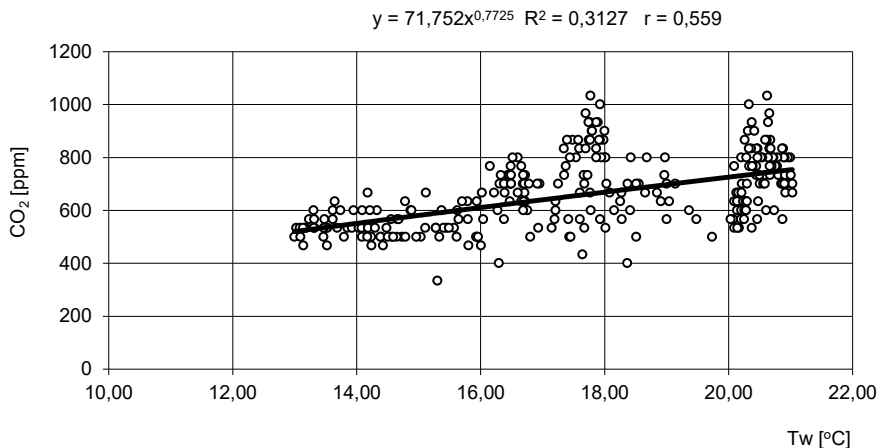
Rys. 5.13. Zależność między temperaturą a wilgotnością względną powietrza wewnątrz obory 3.

Liczba stopni swobody $n-1 = 288$; poziom ufności $P = 0,01$



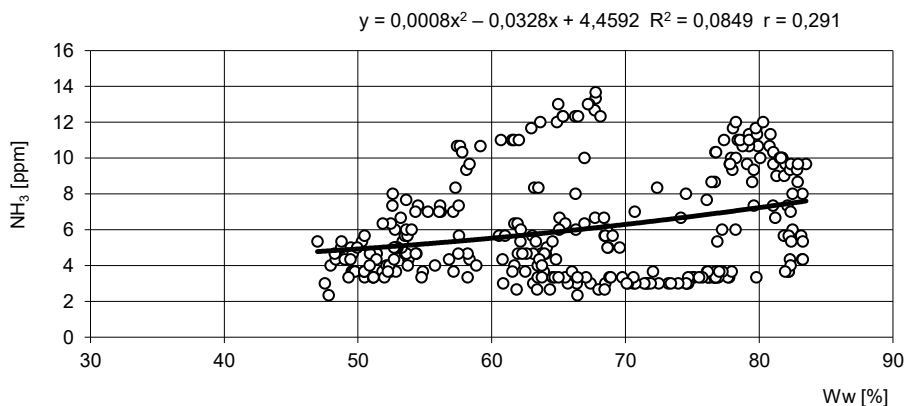
Rys. 5.14. Zależność między temperaturą powietrza a stężeniem amoniaku wewnątrz obory nr 3.

Liczba stopni swobody $n-1 = 288$; poziom ufności $P = 0,01$

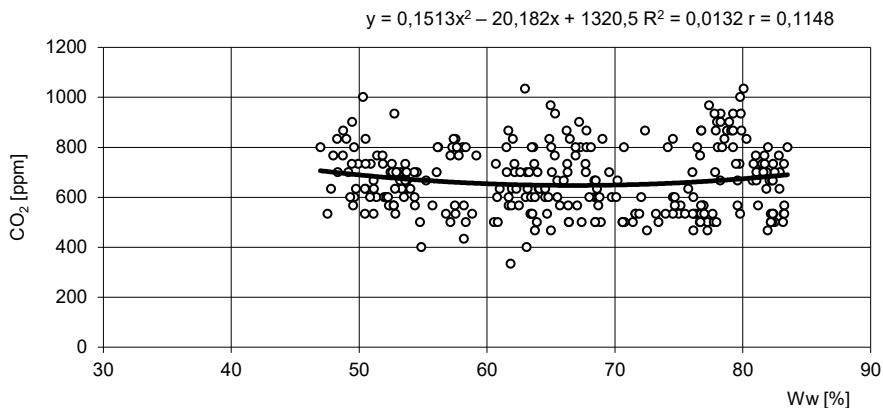


Rys. 5.15. Zależność między temperaturą powietrza a stężeniem CO₂ wewnątrz obory 3.
Liczba stopni swobody n-1 = 288; poziom ufności P = 0,01

Dodatnie natomiast są zależności między stężeniami amoniaku i dwutlenku węgla a wilgotnością względną powietrza wewnątrz obory. Przedstawiają to rysunki 5.16 i 5.17.



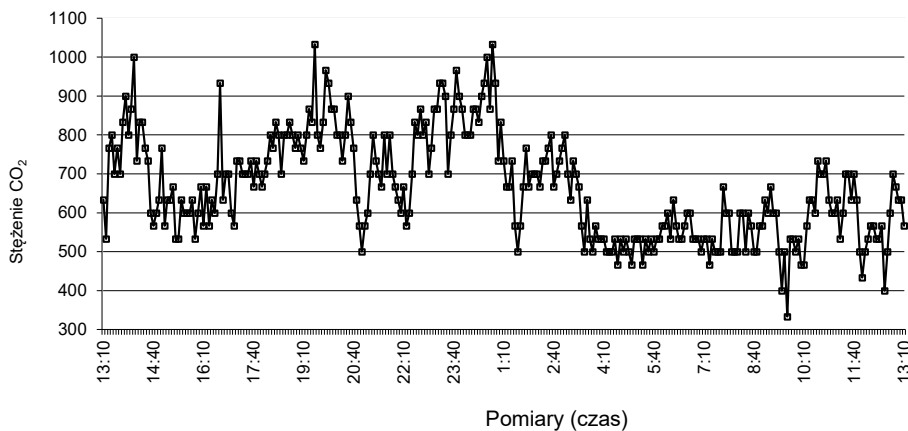
Rys. 5.16. Zależność stężenia NH₃ od wilgotności względnej powietrza wewnątrz obory 3.
Liczba stopni swobody n-1 = 288; poziom ufności P = 0,01



Rys. 5.17. Zależność stężenia CO₂ od wilgotności względnej powietrza wewnątrz obory 3.

Liczba stopni swobody n-1 = 288; poziom ufności P = 0,01

Dobowe wartości stężenia dwutlenku węgla wewnątrz obory 3. przedstawiono na rysunku 5.18. Wynika z niego, że największe stężenie CO₂ występowało w nocy.



Rys. 5.18. Dobowe wartości stężenia CO₂ w oborze 3

5.3.5. Opis procesu technologicznego w oborze gospodarstwa nr 3

Zabieg I – dój i wstępna obróbka mleka

Zabieg doju w oborze gospodarstwa nr 3 jest zrobotyzowany i przebiega za pomocą robota jednostanowiskowego firmy DeLaval. Wydzielona jest strefa doju w robocie udojowym (AMS), pomieszczenie na mleko i pomieszczenia biurowo-socjalne. Praca ludzka, w porównaniu z oborami wyposażonymi w hale udojowe ma inny charakter, ogranicza się do doraźnej kontroli prawidłowości funkcjonowania robota oraz zarządzaniu całym zabiegiem przy zastosowaniu programu komputerowego. Układ bramek w oborze wymusza ruch krów, które chcą przejść do stacji pasz treściwych tak, że najpierw przechodzą przez boks z robotem udojowym.

Zabieg II – przygotowanie i zadawanie pasz

Krowy przebywają cały rok w oborze. Krowy są żywione 1 raz dziennie i otrzymują dawki paszowe PMR, tj. pasze objętościowe w postaci sianokiszonki, kiszonki z kukurydzy, zmieszane z paszami treściwymi w wozie paszowym współpracującym z ciągnikiem o mocy 74 kW. Ponadto w oborze znajduje automat do zadawania pasz treściwych. Na zewnątrz obory są silosy na pasze treściwe o pojemności 8 i 10 m³. Po jednej stronie korytarza paszowego o szerokości 485 cm znajduje się 48 wydzielonych przegrodami stanowisk karmowych i trzy rzędy boksów dla krów dojnych, zaś po drugiej rząd kojców dla krów zasuszonych i jałówek. Po korytarzu paszowym porusza się robot do podgarniania paszy Lely Juno. Do pojenia służą automatyczne 2 poidła stałopoziomowe oraz 4 poidła miskowe.

Zabieg III – Usuwanie i magazynowanie nawozu naturalnego

W gospodarstwie znajduje się obora wolnostanowiskowa na 83 krowy, dla których urządzono ciąg wypoczynkowy w boksach. Kubatura budynku wynosi 7000 m³. Kanały gnojowicowe znajdują się pod podłogą szczelinową oczyszczaną przez robot RS250 DeLaval. Pojemność kanałów gnojowicowych wynosi 923,5 m³. W zewnętrznym zbiorniku można zmagazynować do 505 m³ gnojowicy. Wywóz gnojowicy wozem asenizacyjnym agregowanym z ciągnikiem Same. Roczna produkcja nawozu naturalnego ciekłego w badanej oborze wynosi 1 767 000 kg. Po zakończeniu magazynowania

3 razy w roku gnojowica jest miksowana, wywożona na pola rozlewana na użytki zielone bądź planowane uprawy i przyorywana.

W gospodarstwie powstaje także nawóz stały oraz nawóz ciekły z utrzymania w kojcach zbiorowych w osobnym budynku na głębokiej ściółce jałówek i cieląt młodszych oraz starszych w ilości 182 500 kg.

Zabieg IV – prace różne

W oborze znajdują się trzy czochradła automatyczne służące do wyczesywania skóry bydła i masażu o mocy 0,12 kW każde. Do korekcji racic służy dekomornizator elektryczny o mocy 0,25 kW. Obora jest malowana wewnątrz co 4 lata i oraz dezynfekowana 1 raz w roku.

Tabela 5.11 przedstawia wielkości nakładów robocizny, energii elektrycznej, mechanicznej, zużycie oleju napędowego w oborze gospodarstwa nr 3.

Tabela 5.3. Wartości technologiczne charakteryzujące badaną oborę w gospodarstwie nr 3

Parametr									
y_1	y_{1a}	y_{1b}	y_{1c}	y_2	y_{2a}	y_{2b}	y_{2c}	y_{2d}	y_{3a}
Wartość									
12,114	8,11	2,644	1,36	255,547	227,759	13,234	2,176	12,378	0

Parametr									
y_{3b}	y_4	y_5	y_6	y_{6a}	y_{6b}	y_7	y_{7a}	y_{7b}	
Wartość									
0	0	14,76	476,748	439,122	37,625	69,507	57,246	12,261	

Przyjęte oznaczenia:

y_1 – jednostkowe roczne nakłady robocizny na zabiegi produkcyjne [$rbh^{-1} \cdot rok^{-1} \cdot DJP^{-1}$];

y_{1a} – jednostkowe roczne nakłady robocizny na dój i wstępną obróbkę mleka [$rbh^{-1} \cdot rok^{-1} \cdot DJP^{-1}$];

y_{1b} – jednostkowe roczne nakłady robocizny na przygotowanie i zadawanie pasz [$rbh^{-1} \cdot rok^{-1} \cdot DJP^{-1}$];

y_{1c} – jednostkowe roczne nakłady robocizny na usuwanie i magazynowanie nawozów naturalnych [$rbh^{-1} \cdot rok^{-1} \cdot DJP^{-1}$];

- y_{2a} – jednostkowe roczne nakł. energii elektrycznej na dój i wstępną obróbkę mleka [kWh·rok⁻¹·DJP⁻¹];
- y_{2b} – jednostkowe roczne nakł. energii elektrycznej na przygotowanie i zadawanie pasz [kWh·rok⁻¹·DJP⁻¹];
- y_{2c} – jednostkowe roczne nakł. energii elektrycznej na usuwanie i magazynowanie nawozów naturalnych [kWh·rok⁻¹·DJP⁻¹];
- y_{2d} – jednostkowe roczne nakł. energii elektrycznej na prace różne [kWh·rok⁻¹·DJP⁻¹];
- y_{3a} – jednostkowe roczne nakłady energii elektrycznej ze źródeł OZE na zabieg I [kWh·rok⁻¹·DJP⁻¹];
- y_{3b} – jednostkowe roczne nakłady energii elektrycznej ze źródeł OZE na zabieg II [kWh·rok⁻¹·DJP⁻¹];
- y_{3c} – jednostkowe roczne nakłady energii elektrycznej ze źródeł OZE na zabieg III [kWh·rok⁻¹·DJP⁻¹];
- y_4 – jednostkowe roczne nakłady energii elektrycznej na wentylację [kWh·rok⁻¹·DJP⁻¹];
- y_5 – jednostkowe roczne nakłady energii elektrycznej na oświetlenie [kWh·rok⁻¹·DJP⁻¹];
- y_6 – jednostkowe roczne nakłady energii mechanicznej na zabiegi produkcyjne [kWh·rok⁻¹·DJP⁻¹];
- y_{6a} – jednostkowe roczne nakłady energii mechanicznej na zabieg II [kWh·rok⁻¹·DJP⁻¹];
- y_{6b} – jednostkowe roczne nakłady energii mechanicznej na zabieg III [kWh·rok⁻¹·DJP⁻¹];
- y_7 – jednostkowe roczne zużycie paliw płynnych na poszczególne zabiegi [dm³·rok⁻¹·DJP⁻¹];
- y_{7a} – jednostkowe roczne zużycie paliw płynnych na zabieg II [dm³·rok⁻¹·DJP⁻¹];
- y_{7b} – jednostkowe roczne zużycie paliw płynnych na zabieg III [dm³·rok⁻¹·DJP⁻¹].

5.3.6. Określenie jednostkowych kosztów eksploatacji

W tabeli 5.12 przedstawiono koszty eksploatacji maszyn i urządzeń w poszczególnych zabiegach technologicznych oraz budynku obory w gospodarstwie nr 3, a w tabeli 5.13 wartości zmiennych ekonomicznych.

Tabela 5.4. Koszty eksploatacji i wyposażenia technicznego w oborze* gospodarstwa nr 3

Obiekt nr 3	k_{e1}	k_{e2}	k_{e3}	k_{e4}	k_{e5}
Koszty	1285,78	2251,47	418,65	0,36	369,26

* Obora wolnostanowiskowa, boksowa, bezściółkowa

gdzie:

- k_{e1} – jednostkowe koszty eksploatacji maszyn i urządzeń w zabiegu I [$\text{zł}\cdot\text{rok}^{-1}\cdot\text{DJP}^{-1}$];
- k_{e2} – jednostkowe koszty eksploatacji maszyn i urządzeń w zabiegu II, [$\text{zł}\cdot\text{rok}^{-1}\cdot\text{DJP}^{-1}$];
- k_{e3} – jednostkowe koszty eksploatacji maszyn i urządzeń w zabiegu III, [$\text{zł}\cdot\text{rok}^{-1}\cdot\text{DJP}^{-1}$];
- k_{e4} – koszty eksploatacji maszyn i urządzeń w zabiegu IV, [$\text{zł}\cdot\text{rok}^{-1}\cdot\text{DJP}^{-1}$];
- k_{e5} – koszty eksploatacji budynku, [$\text{zł}\cdot\text{rok}^{-1}\cdot\text{DJP}^{-1}$].

Tabela 5.5. Wartości ekonomiczne badanego obiektu w gospodarstwie nr 3

Parametr	z_1	z_2	z_3	z_4	z_5	z_6	z_7	z_8
Koszt	5084,46	230	5492,17	6112,29	1632,53	91,103	5,2936	0,8704
Parametr	z_9	z_{10}	z_{11}	z_{12}	z_{13}	z_{14}	z_{15}	
Koszt	2,05356	42,67	0	121,65	39,66	20,4	49,41	

Przyjęte oznaczenia:

- z_1 – jednostkowy koszt inwestycyjny obiektu (budynku z wyposażenia) [$\text{zł}\cdot\text{DJP}^{-1}$];
- z_2 – jednostkowy koszt ubezpieczenia obiektu (budynku) [$\text{zł}\cdot\text{rok}^{-1}$];
- z_3 – koszty maszyn i urządzeń do mechanizacji zabiegu I [$\text{zł}\cdot\text{DJP}^{-1}$];
- z_4 – koszty maszyn i urządzeń do mechanizacji zabiegu II [$\text{zł}\cdot\text{DJP}^{-1}$];
- z_5 – koszty maszyn i urządzeń do mechanizacji zabiegu III [$\text{zł}\cdot\text{DJP}^{-1}$];
- z_6 - z_9 – jednostkowy koszt energii elektrycznej z zabiegów [$\text{zł}\cdot\text{rok}^{-1}\cdot\text{DJP}^{-1}$];
- z_{10} – koszt ubezpieczenia maszyn do mechanizacji zabiegu II [$\text{zł}\cdot\text{rok}^{-1}\cdot\text{DJP}^{-1}$];
- z_{11} – koszt ubezpieczenia maszyn do mechanizacji zabiegu III [$\text{zł}\cdot\text{rok}^{-1}\cdot\text{DJP}^{-1}$];
- z_{12} – koszt robocizny w zabiegu doju (I) [$\text{zł}\cdot\text{DJP}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$];
- z_{13} – koszt robocizny w zabiegu żywienia (II) [$\text{zł}\cdot\text{DJP}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$];
- z_{14} – koszt robocizny w zabiegu usuwanie i magazynowanie nawozu (III) [$\text{zł}\cdot\text{DJP}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$];
- z_{15} – koszt robocizny w zabiegu prace różne (IV) [$\text{zł}\cdot\text{DJP}^{-1}\cdot\text{rok}^{-1}$].

5.4. Opis gospodarstwa nr 4 oraz budynku inwentarskiego stanowiącego przedmiot badań

5.4.1. System chowu i system utrzymania w oborze w gospodarstwie nr 4

Jest to obora wolnostanowiskowa, boksowa z legowiskami na płytkiej ściółce w cyklu zamkniętym dla 144 DJP krów. Hala obory jest podzielona na pomieszczenia dla krów dojnych, krowy zasuszone posiadają boksy po drugiej stronie korytarza paszowego, który jest oddzielony od obszaru paszowego z podłogą pełną drabinami paszowymi. Po stronie krów dojnych znajduje się kojec zbiorowy dla starszych cieląt. Krowy mleczne są utrzymywane w bokсах legowiskowych płytko ścielonych słomą. Korytarze gnojowo- spacerowe są oddzielone od korytarza paszowego drabinami paszowymi. Jałówki i młodsze cielęta są utrzymywane w osobnym budynku starej obory.

Budynek halowy trójnawowy o konstrukcji słupowej, z bloczków betonowych, pod sufitem pokrycie zapobiegające skraplaniu pary wodnej. W części szczytowej budynku dojarnia i pomieszczenie na mleko.

5.4.2. Zagospodarowanie działki w gospodarstwie nr 4

Działka jest zabudowana następującymi obiektami:

- budynek obory stanowiskowej na 50 DJP
- omawiany budynek obory wolnostanowiskowej na 144 DJP
- zbiornik na płynne odchody zwierzęce o pojemności 287 m³
- płyta gnojowa 450 m²
- zbiornik na nieczystości ciekłe socjalne o pojemności 9 m³

Powierzchnia działki	15000 m ²
Powierzchnia budynków inwentarskich	585 m ²
+ omawiany budynek	1587 m ²
Powierzchnia komunikacyjna:	120 m ²
Powierzchnia uprawy warzyw i kwiatów, uprawy polowe	12708 m ²

Odprowadzenie ścieków z części socjalnej do szczelnego zbiornika bezodpływowego na nieczystości stałe, zaopatrzenie w wodę z wodociągu.

5.4.3. Charakterystyka techniczno-ekonomiczna obory w gospodarstwie nr 4

Wartości oceny elementów technicznych są przedstawione w tabeli 5.14.

Tabela 5.6. Zestawienie wartości technicznych badanego budynku obory w gospodarstwie nr 4

Parametr									
x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}
Wartość									
1,76	2,79	1,37	0,59	n.d.	42,25	0,347	5,36	3,125	n.d.

Parametr									
x_{11}	x_{12}	x_{13}	x_{14}	x_{15}	x_{16}	x_{17}	x_{18}	x_{19}	
Wartość									
0,18	n.d.	7,71	7,29	7,12	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	

Przyjęte oznaczenia:

- x_1 – jednostkowa powierzchnia legowisk [$m^2 \cdot DJP^{-1}$];
- x_2 – jednostkowa powierzchnia korytarzy gnojowych [$m^2 \cdot DJP^{-1}$];
- x_3 – jednostkowa powierzchnia korytarza paszowego [$m^2 \cdot DJP^{-1}$];
- x_4 – jednostkowy wymiar obszaru dostępu do paszy [$m \cdot DJP^{-1}$];
- x_5 – jednostkowa powierzchnia podłogi szczelinowej [$m^2 \cdot DJP^{-1}$];
- x_6 – kubatura obiektu [$m^3 \cdot DJP^{-1}$];
- x_7 – jednostkowa pojemność magazynowania nawozu płynnego–zbiornika gnojówki i gnojowicy [$m^3 \cdot DJP^{-1}$];
- x_8 – jednostkowa pojemność magazynowania nawozu stałego [$m^3 \cdot DJP^{-1}$];
- x_9 – jednostkowa powierzchnia składowania nawozu stałego [$m^2 \cdot DJP^{-1}$];
- x_{10} – jednostkowa pojemność zbiornika na wody technologiczne [$m^3 \cdot DJP^{-1}$];
- x_{11} – jednostkowa powierzchnia pomieszczenia na mleko [$m^2 \cdot DJP^{-1}$];
- x_{12} – jednostkowa powierzchnia pomieszczeń pomocniczych [$m^2 \cdot DJP^{-1}$];
- x_{13} – powierzchnia zabudowy [$m^2 \cdot DJP^{-1}$];
- x_{14} – powierzchnia użytkowa [$m^2 \cdot DJP^{-1}$];
- x_{15} – powierzchnia produkcyjna [$m^2 \cdot DJP^{-1}$];
- x_{16} – powierzchnia okien [$m^2 \cdot DJP^{-1}$];
- x_{17} – powierzchnia świetlika kalenicowego [$m^2 \cdot DJP^{-1}$];

x_{18} – powierzchnia kanałów nawiewnych [$m^2 \cdot DJP^{-1}$];

x_{19} – powierzchnia kanałów wywiewnych [$m^2 \cdot DJP^{-1}$].

5.4.4. Opis warunków środowiskowych w oborze gospodarstwa nr 4

Obora stwarza odpowiednie warunki mikroklimatu co można stwierdzić na podstawie danych zmiennych mikroklimatu zawartych w tabeli 5.15.

Tabela 5.7. Wartości wskaźników mikroklimatycznych w oborze* gospodarstwa nr 4

Obora nr 4	w_1	w_2	w_3	w_4	w_5	w_6	w_7	w_8	w_9
średnia	5,33	12,10	71,91	58,48	941,70	4,5	0,17	331,26	140,0
zakres	1,73-10,93	9,63-14,63	39-90,3	36,90-69,37	500-1750	1,3-7,0			

* Obora wolnostanowiskowa ściółkowa boksowa

gdzie:

w_1 – temperatura powietrza na zewnątrz budynku [$^{\circ}C$];

w_2 – temperatura wewnątrz budynku [$^{\circ}C$];

w_3 – wilgotność względna powietrza na zewnątrz budynku [%];

w_4 – wilgotność względna powietrza wewnątrz budynku [%];

w_5 – stężenie dwutlenku węgla CO_2 [ppm];

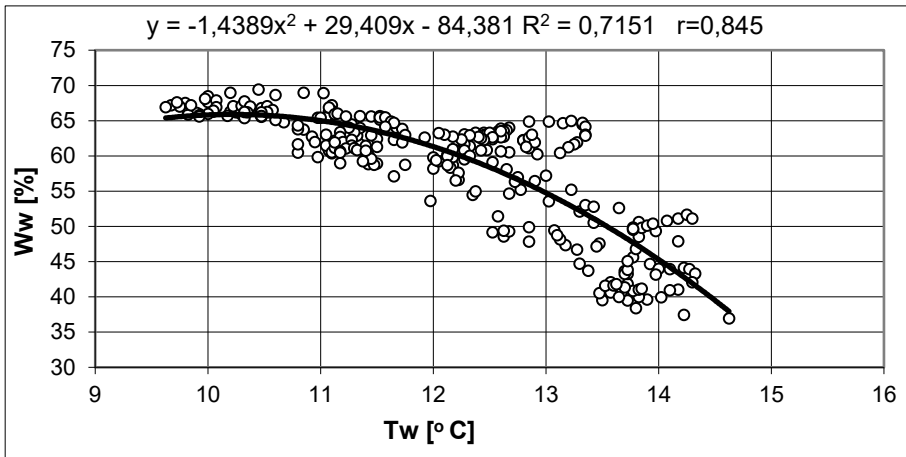
w_6 – stężenie amoniaku NH_3 [ppm];

w_7 – średnia prędkość powietrza [$m \cdot s^{-1}$];

w_8 – średnia wymiana powietrza [$m^3 \cdot DJP^{-1} \cdot h^{-1}$];

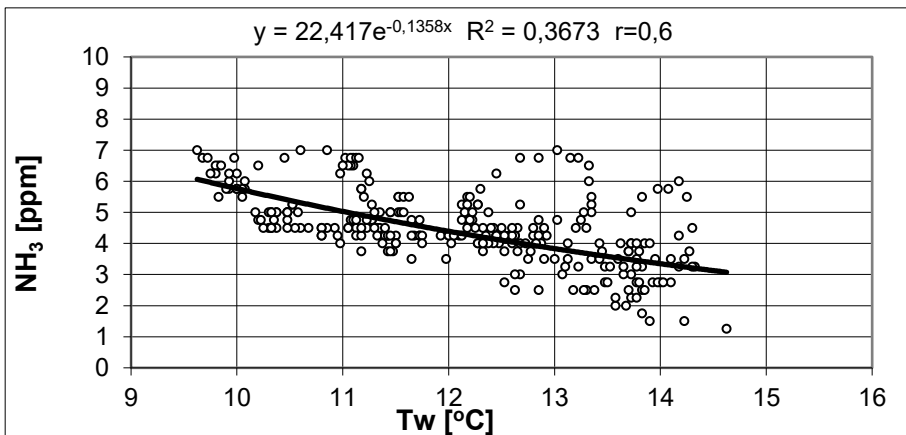
w_9 – oświetlenie pomieszczeń inwentarskich [Lx].

Rysunek 5.19 przedstawia wysokoistotną ujemną zależność między temperaturą a wilgotnością względną powietrza wewnątrz obory nr 4.



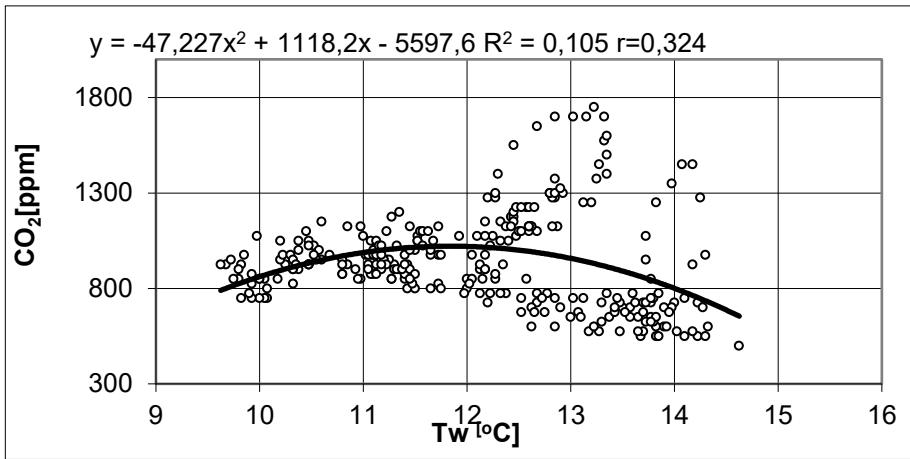
Rys. 5.19. Wykres zależności między temperaturą a wilgotnością względną powietrza wewnątrz obory nr 4.
Liczba stopni swobody $n-1 = 288$, $P = 0,01$

Stwierdzono średnio wysoką korelację między stężeniem amoniaku a temperaturą wewnątrz obory (rys. 5.20).



Rys. 5.20. Zawartość NH_3 w zależności od temperatury wewnętrznej w oborze nr 4.
Liczba stopni swobody $n-1 = 288$; poziom ufności $P = 0,01$

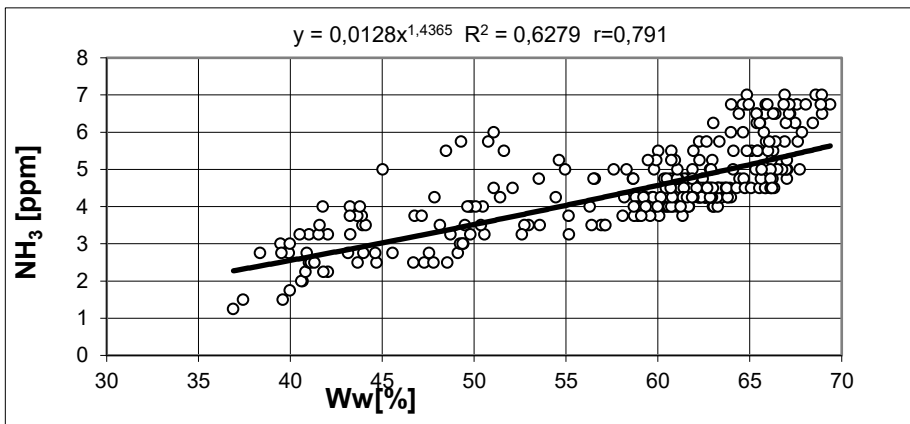
Korelacja między stężeniem dwutlenku węgla a temperaturą wewnątrz obory nie była wysoka (rys. 5.21) ale istotna statystycznie.



Rys. 5.21. Zawartość CO₂ w zależności od temperatury wewnętrznej w oborze nr 4.

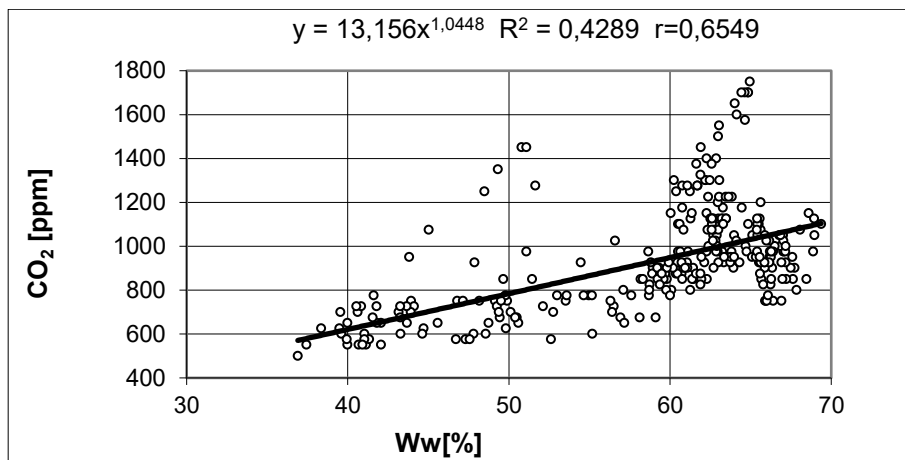
Liczba stopni swobody n-1 = 288. P = 0,01

Stwierdzono wysokoistotne zależności między wilgotnością względną a stężeniem amoniaku (rys. 5.22) i dwutlenkiem węgla (rys. 5.23).



Rys. 5.22. Zawartość NH₃ w zależności od wilgotności wewnętrznej w oborze nr 4.

Liczba stopni swobody n-1 = 288; P = 0,01



Rys. 5.23. Zależność między stężeniem dwutlenku węgla a wilgotnością względną powietrza wewnątrz obory nr 4.
Liczba stopni swobody n-1 = 288, P = 0,01

5.4.5. Opis procesu technologicznego w oborze gospodarstwa nr 4

Zabieg I

Krowy dojne są w dojarni typu tandem, na 8 stanowiskach udojowych, po 4 stanowiska z dwóch stron kanału udojowego. Poczekalnię stanowi cały korytarz spacerowy między boksami legowiskowymi oraz dodatkowa powierzchnia przed wejściem do dojarni. Takie właśnie usytuowanie dojarni względem poczekalni jest zalecane. Krowy po doju wychodzą na korytarz spacerowy między boksami legowiskowymi, a korytarzem paszowym, nazywanym również obszarem paszowym. Krowy dojne są dwukrotnie w ciągu doby. Dój wykonuje jedna osoba, natomiast druga osoba wykonuje w tym czasie prace porządkowe w oborze.

Agregat próżniowy dojarni usytuowano w oddzielnym pomieszczeniu na poddaszu. Pomieszczenie na mleko przylega do dojarni i jest jej przedłużeniem. Od dojarni oddziela je ściana szczytowa obory. Pomieszczenie na mleko wyposażono aktualnie w dwie schładzarki – jedna o pojemności 2700 l typu zamkniętego, wyposażona w myjnię automatyczną oraz drugą mniejszą

– o pojemności 1500 l typu otwartego. Są to schładzarki o chłodzeniu bezpośrednim. W schładzarce o pojemności 2700 l zainstalowano instalację do odzysku ciepła. Schładzarkę o pojemności 1500 dm³ myje się ręcznie raz na dwa dni po odbiorze mleka.

Zabieg II

Po jednej stronie korytarza o szerokości 440 cm znajdują się trzy rzędy boksów legowiskowych dla krów dojnych, po drugiej boksy dla krów dojnych i zasuszonych. Krowy przez cały rok przebywają w oborze. Murek oddzielający korytarz paszowy od obszaru paszowego usytuowany jest 25 cm powyżej korytarza paszowego i 40 cm powyżej obszaru paszowego. Dostęp do żłobu zapewnia drabina paszowa samozatraskowa – 124 stanowiskowa. Do pojenia krów służą poidła dwukomorowe o stałym poziomie wody (4 szt.). Pojenie krów odbywa się z wykorzystaniem poidel dwukomorowych ze stałym poziomem wody, usytuowanych na korytarzu gnojowo-spacerowym. Kiszonki dla krów sporządzane są w silosach ziemnych.

Krowy są żywione paszą TMR sporządzaną przy użyciu wozu paszowego mieszającego Keenan o pojemności 20 m³ współpracującego z ciągnikiem o mocy 77 kW. Pasza ma następujący skład: kiszonka z kukurydzy, sianokiszonka, pasza treściwa (w ilości ok. 7 kg · szt.⁻¹). W lecie oprócz wymienionych pasz dodaje się ok. 20% świeżej zielonki.

Zabieg III

Krowy przebywają w boksach dościelanych słomą w ilości 2×1 kg słomy na stanowisko. Ścielenie boksów legowiskowych odbywa się ręcznie przez 1 osobę. Nawóz naturalny w postaci obornika z trzech korytarzy gnojowo-spacerowych wzdłużnych usuwany jest dwa razy w ciągu doby przenośnikami zgarniakowymi typu „delta” do kanału poprzecznego zlokalizowanego w jednym ze szczytów budynku. W kanale tym pracuje przenośnik typu „kompri-mat”. Przenośnik ten samoczynnie formuje pryzmę obornika na gnojowni podając kolejne porcje usuwanego z budynku obornika od dołu tzw. metodą „kreta”. Zgarniacze obornika pracują trzykrotnie w ciągu doby po ok. 15 minut.

Gnojownia ma powierzchnię płyty ok. 450 m². Przy gnojowni jest zbiornik na odciek o pojemności 287 m³. Nawozy ciekłe (gnojówka i gnojowica)

gromadzone są w cylindrycznym zbiorniku naziemnym oraz zbiorniku prostopadłościennym o pojemności 70 m³. Pojemności te są wystarczające na magazynowanie wyprodukowanych w gospodarstwie nawozów naturalnych w wymaganym przez prawodawstwo okresie 4 miesięcy.

Zabieg IV

Pielęgnacja zwierząt jest częściowo zmechanizowana, tj. jest stosowany elektryczny dekornizator. Czyszczenie ścian i dezynfekcja są zmechanizowane, tzn. przy pomocy myjki wysokociśnieniowej.

Tabela 5.16 przedstawia wielkości nakładów robocizny, energii elektrycznej, mechanicznej, zużycie oleju napędowego w oborze gospodarstwa nr 4.

W tabeli 5.17 przedstawiono koszty eksploatacji maszyn i urządzeń w poszczególnych zabiegach technologicznych oraz budynku obory w gospodarstwie nr 4, a w tabeli 5.18 wartości zmiennych ekonomicznych.

Tabela 5.16. Wartości technologiczne charakteryzujące badaną oborę w gospodarstwie nr 4

Parametr	y_1	y_{1a}	y_{1b}	y_{1c}	y_2	y_{2a}	y_{2b}	y_{2c}	y_{2d}	y_{3a}
Wartość	31,81	18,163	5,491	8,156	131,907	120,059	0	8,554	3,294	0
Parametr	y_{3b}	y_4	y_5	y_6	y_{6a}	y_{6b}	y_7	y_{7a}	y_{7b}	
Wartość	0	0	25,637	207,775	61,412	146,363	56,376	37,765	18,611	

Przyjęte oznaczenia:

y_1 – jednostkowe roczne nakłady robocizny na zabiegi produkcyjne [rbh⁻¹·rok⁻¹·DJP⁻¹];

y_{1a} – jednostkowe roczne nakłady robocizny na dój i wstępną obróbkę mleka
[rbh⁻¹·rok⁻¹·DJP⁻¹];

y_{1b} – jednostkowe roczne nakłady robocizny na przygotowanie i zadawanie pasz
[rbh⁻¹·rok⁻¹·DJP⁻¹];

y_{1c} – jednostkowe roczne nakłady robocizny na usuwanie i magazynowanie nawozów naturalnych [rbh⁻¹·rok⁻¹·DJP⁻¹];

y_{2a} – jednostkowe roczne nakł. energii elektrycznej na dój i wstępną obróbkę mleka
[kWh·rok⁻¹·DJP⁻¹];

y_{2b} – jednostkowe roczne nakł. energii elektrycznej na przygotowanie i zadawanie pasz
[kWh·rok⁻¹·DJP⁻¹];

5. BADANIA WIELOKRYTERIALNE OBÓR WIELOSTANOWISKOWYCH

- y_{2c} – jednostkowe roczne nakł. energii elektrycznej na usuwanie i magazynowanie nawozów naturalnych [kWh · rok⁻¹·DJP⁻¹];
 y_{2d} – jednostkowe roczne nakł. energii elektrycznej na prace różne [kWh · rok⁻¹·DJP⁻¹];
 y_{3a} – jednostkowe roczne nakłady energii elektrycznej ze źródeł OZE na zabieg I [kWh · rok⁻¹·DJP⁻¹];
 y_{3b} – jednostkowe roczne nakłady energii elektrycznej ze źródeł OZE na zabieg II [kWh · rok⁻¹·DJP⁻¹];
 y_{3c} – jednostkowe roczne nakłady energii elektrycznej ze źródeł OZE na zabieg III [kWh · rok⁻¹·DJP⁻¹];
 y_4 – jednostkowe roczne nakłady energii elektrycznej na wentylację [kWh · rok⁻¹·DJP⁻¹];
 y_5 – jednostkowe roczne nakłady energii elektrycznej na oświetlenie [kWh · rok⁻¹·DJP⁻¹];
 y_6 – jednostkowe roczne nakłady energii mechanicznej na zabiegi produkcyjne [kWh · rok⁻¹·DJP⁻¹];
 y_{6a} – jednostkowe roczne nakłady energii mechanicznej na zabieg II [kWh · rok⁻¹·DJP⁻¹];
 y_{6b} – jednostkowe roczne nakłady energii mechanicznej na zabieg III [kWh · rok⁻¹·DJP⁻¹];
 y_7 – jednostkowe roczne zużycie paliw płynnych na poszczególne zabiegi (zadawania pasz, usuwania nawozów naturalnych i ścielenia) [kWh · rok⁻¹·DJP⁻¹];
 y_{7a} – jednostkowe roczne zużycie paliw płynnych na zabieg II [dm³ · rok⁻¹·DJP⁻¹];
 y_{7b} – jednostkowe roczne zużycie paliw płynnych na zabieg III [dm³ · rok⁻¹·DJP⁻¹].

Tabela 5.17. Koszty eksploatacji i wyposażenia technicznego w oborze* gospodarstwa nr 4

Obiekt nr 4	k_{e1}	k_{e2}	k_{e3}	k_{e4}	k_{e5}
Koszty	469,99	1662,65	747,85	5,52	144,87

* Wolnostanowiskowa, boksowa, ściółkowa

gdzie:

- k_{e1} – jednostkowe koszty eksploatacji maszyn i urządzeń w zabiegu I [zł·rok⁻¹·DJP⁻¹];
 k_{e2} – jednostkowe koszty eksploatacji maszyn i urządzeń w zabiegu II, [zł·rok⁻¹·DJP⁻¹];
 k_{e3} – jednostkowe koszty eksploatacji maszyn i urządzeń w zabiegu III, [zł·rok⁻¹·DJP⁻¹];
 k_{e4} – koszty eksploatacji maszyn i urządzeń w zabiegu IV, [zł·rok⁻¹·DJP⁻¹];
 k_{e5} – koszty eksploatacji budynku, [zł·rok⁻¹·DJP⁻¹].

**Tabela 5.18. Wartości ekonomiczne badanego obiektu
w gospodarstwie nr 4**

Parametr	z_1	z_2	z_3	z_4	z_5	z_6	z_7	z_8
Wartość	4358,11	230,00	1446,43	3718,34	380,95	48,02	0	3,42
Parametr	z_9	z_{10}	z_{11}	z_{12}	z_{13}	z_{14}	z_{15}	
Wartość	24,5648	29,17	45,42	272,45	82,36	122,34	32,15	

gdzie:

- z_1 – jednostkowy koszt inwestycyjny obiektu (budynku z wyposażenia [zł·DJP⁻¹];
- z_2 – jednostkowy koszt ubezpieczenia obiektu (budynku) [zł·DJP⁻¹·rok⁻¹];
- z_3 – koszty maszyn i urządzeń do mechanizacji zabiegu I [zł·DJP-1];
- z_4 – koszty maszyn i urządzeń do mechanizacji zabiegu II [zł·DJP-1];
- z_5 – koszty maszyn i urządzeń do mechanizacji zabiegu III [zł·DJP-1];
- z_6 - z_9 – jednostkowy koszt energii elektrycznej z zabiegów [zł·rok-1·DJP-1];
- z_{10} – koszt ubezpieczenia maszyn do mechanizacji zabiegu II [zł·rok-1·DJP-1];
- z_{11} – koszt ubezpieczenia maszyn do mechanizacji zabiegu III [zł·rok-1·DJP-1];
- z_{12} – koszt robocizny w zabiegu doju (I) [zł·DJP-1·rok-1] [zł·DJP-1·rok-1];
- z_{13} – koszt robocizny w zabiegu żywienia (II) [zł·DJP-1·rok-1];
- z_{14} – koszt robocizny w zabiegu usuwanie i magazynowanie nawozu (III) [zł·DJP-1·rok-1];
- z_{15} – koszt robocizny w zabiegu prace różne [zł·DJP-1·rok-1].

5.5. Ocena badanych obiektów i wybór rozwiązania najkorzystniejszego

5.5.1. Podsumowanie oceny zagospodarowania działek zagrodowych

Zachowanie ładu przestrzennego i zrównoważony rozwój są nadrzędnymi celami działań jednostek organów administracji rządowej i samorządu terytorialnego. Zakres i sposób postępowania w sprawach przeznaczania terenu na określone cele oraz ustalanie zasad zagospodarowania i zabudowy wynikają z ustawy o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym. Jednocześnie każdy ma prawo w granicach określonych ustawą do zagospodarowania terenu, do którego ma tytuł prawny, zgodnie z ustalonymi w miejscowym planie zagospodarowania przestrzennego lub decyzji o warunkach zabudowy i zagospodarowania terenu, jeśli nie narusza to chronionego prawem interesu

publicznego oraz osób trzecich. Oznacza to, że zagospodarowanie działki zagrodowej wynikające z potrzeb inwestora-rolnika musi spełniać również wymagania określone w dokumentach miejscowego planu zagospodarowania terenu lub decyzji o warunkach zabudowy. W tych dokumentach znajdują się m.in. narzucone wskaźniki; intensywności zabudowy, powierzchni biologicznie czynnej, wykorzystania powierzchni.

Wskaźnik intensywności zabudowy jest to stosunek całkowitej powierzchni naziemnych budynków i obiektów budowlanych w zewnętrznym obrysie do powierzchni terenu (działki). W gminach rolniczych maksymalne wskaźniki intensywności zabudowy dla gospodarstw rolnych ustalone są do wysokości 0,75. Zwiększenie wskaźnika ponad wartość dopuszczalną maksymalną prowadziłyby do negatywnego oddziaływania obiektów na działki sąsiednie, ograniczenie możliwości odprowadzenia wód opadowych, ograniczenie wykonywania czynności procesu technologicznego na terenie działki zagrodowej.

Analizie poddano tylko 3 obory, ze względu na brak danych dotyczących obory w gospodarstwie nr 4 przez właściciela. Wskaźniki charakteryzujące zabudowę działek przedstawiono w kolejnych tabelach 5.19, 5.20 i 5.21.

Tabela 5.19. Zestawienie wskaźników intensywności zabudowy w badanych obiektach

Nr obiektu	Wskaźnik J	System utrzymania
1	0,258	ściółkowa samospławna
2	0,382	głęboka ściółka
3	0,270	boksowa bezściółkowa

W badanych obiektach wskaźnik intensywności zabudowy zawierał się w granicach od 0,258 do 0,382. Oznacza to, że maksymalne zagęszczenie zabudowy na jednostce terenu działki zlokalizowanych było ponad dwukrotnie więcej budynków i obiektów budowlanych aniżeli na działce o min. zagęszczeniu zabudowy. Ze zbioru wartości wskaźnika intensywności zabudowy nie widać żadnej zależności w odniesieniu do systemu utrzymania.

Wskaźnik powierzchni biologicznie czynnej jest istotnym elementem standardu kształtowania środowiska przyrodniczego oraz struktury przestrzennej wsi. Przez powierzchnię biologicznie czynną należy rozumieć powierzchnię działki w głąb gruntu możliwą do zagospodarowania roślinnością. Powierzchnią biologicznie czynną nie jest nawierzchnia żwirowa lub pokryta ażurowymi płytami, powierzchnia dojeżdż lub dojazdów i placów. Do 80% powierzchni działki zagrodowej można przeznaczyć pod zabudowę i komunikację.

Tabela 5.8. Zestawienie wskaźników powierzchni biologicznie czynnej w badanych obiektach

Nr obiektu	Wskaźnik B	System utrzymania
1	0,558	ściółkowa z podłożem samospławialnym
2	0,392	głęboka ściółka
3	0,520	boksowa bezściółkowa

W badanych obiektach wskaźnik powierzchni biologicznie czynnej zawierał się w granicach od 0,392 do 0,558. Wartości wskaźnika nie są zależne od systemu utrzymania.

Wskaźnik wykorzystania powierzchni jest to stosunek całkowitej powierzchni budynków i obiektów budowlanych oraz powierzchni komunikacyjnej w postaci dróg, placów, chodników do całkowitej powierzchni terenu (działki). Wskaźnik ten informuje nas o stopniu wykorzystania powierzchni działki. Suma wskaźników wykorzystania powierzchni i powierzchni biologicznie czynnej zawsze wynosi 1.

Tabela 5.9. Zestawienie wskaźników wykorzystania powierzchni działek w badanych obiektach

Nr obiektu	Wskaźnik W	System utrzymania
1	0,442	ściółkowa z podłożem samospławialnym
2	0,608	głęboka ściółka
3	0,480	boksowa bezściółkowa

W badanych obiektach wskaźnik wykorzystania powierzchni wynosił od 0,480 do 0,608. Maksymalna wartość wskaźnika wykorzystania powierzchni może wynosić 0,800. W żadnym z obiektów wartość wskaźnika nie zbliżała się do wartości dopuszczalnej maksymalnej. Średnia wartość wynosi 0,45. Oznacza to, że powierzchnia działek jest za duża do potrzeb i jest wykorzystywana zaledwie w ok. 60%.

5.5.2. Ocena wielokryterialna zbadanych obór

Ramowy model oceny wielokryterialnej został zrealizowany w oparciu o kryteria ekonomiczne, technologiczne i jakościowe:

- jednostkowe koszty inwestycyjne budynku z obiektami towarzyszącymi i wyposażenia w maszyny i urządzenia do mechanizacji i robotyzacji zabiegów technologicznych,
- jednostkowe zużycie energii elektrycznej i mechanicznej
- nakłady pracy ludzkiej
- warunki mikroklimatu: stężenie i emisja szkodliwych gazów, w tym cieplarnianych, mających wpływ na zmiany klimatu (CO_2 i NH_3).

Ocena technologiczna

Ocena technologiczna obejmowała nakłady robocizny (tab. 5.22), zużycia energii elektrycznej, mechanicznej (tab. 5.23).

Tabela 5.10. Nakłady robocizny zbadanych 4 obór

Nr obory	Nakłady robocizny [rbh·rok ⁻¹ ·DJP ⁻¹]				Razem nakłady robocizny [rbh·rok ⁻¹ ·DJP ⁻¹]	Razem nakłady robocizny [rbmin·doba ⁻¹ ·DJP ⁻¹]
	n _{relI}	n _{relII}	n _{relIII}	n _{relIV}	n _r	n _r
1	15,246	9,332	3,513	3,158	31,249	5,13
2	23,847	5,252	66,928	2,86	98,887	16,25
3	8,11	2,644	1,36	3,294	15,408	2,53
4	18,163	5,491	8,156	0,876	32,686	5,37

Najniższe nakłady robocizny wystąpiły w oborze wolnostanowiskowej boksowej bezściółkowej, w której zastosowano robota do doju oraz robota do podgarniania pasz na korytarz paszowym. Najwyższe nakłady robocizny były w oborze z głęboką ściółką.

Tabela 5.11. Jednostkowe roczne nakłady energii elektrycznej i mechanicznej zbadanych obór, w [kWh·rok⁻¹·DJP⁻¹]

Nr obory	E _I	E _{II}	E _{III}	E _{IV}	E _{mII}	E _{mIII}	Razem E
1	113,148	0	0	2,065	502,274	110,142	727,629
2	248,862	0	0	12,378	334,72	234,428	830,38
3	227,759	13,234	2,176	5,1339	439,122	37,625	725,05
4	120,059	0	8,554	3,294	61,412	146,363	339,682

Ocena jakościowa – analiza parametrów mikroklimatu

W badanych obiektach obór wolnostanowiskowych temperatura powietrza nie przekraczała 26°C. Średnia wilgotność względna powietrza wahała się w granicach od 64% do 69,3%, zatem warunki ciepłno-wilgotnościowe były zgodne z zalecanymi przez standardy. Również w przypadku stężeń szkodliwych gazów wartości zalecane nie były przekroczone i wynosiły dla amoniaku od 3,23 ppm do 15 ppm, natomiast dla dwutlenku węgla od 665,5 ppm do 2500 ppm. Maksymalne wartości stężeń szkodliwych gazów zanotowano w oborze z podłożem samospławialnym.

Ocena ekonomiczna

W ocenie ekonomicznej podsumowano jednostkowe koszty inwestycyjne obór (tab.5.24), eksploatacji budynków obór, wyposażenia oraz mobilnych maszyn i urządzeń do mechanizacji, automatyzacji i robotyzacji zabiegów technologicznych, także koszty robocizny (tab. 5.25).

**Tabela 5.12. Jednostkowe koszty inwestycyjne zbadanych obór,
w zł·DJP⁻¹·rok⁻¹**

Nr obory	Jednostkowe koszty inwestycyjne					
	k _{ib}	k _{iI}	k _{iII}	k _{iIII}	k _{iIV}	k _i
1	8250,11	846,42	2733,47	6069,97	22,97	17922,94
2	7264,79	1060,0	5123,0	1650,0	157,73	15255,52
3	13259,34	5492,17	6112,29	1632,53	187,6	26683,93
4	4358,11	1446,43	3718,34	380,95	21,16	9924,99

**Tabela 5.13. Łączne jednostkowe koszty eksploatacji budynków obór,
wyposażenia, maszyn i urządzeń do mechanizacji, automatyzacji
i robotyzacji zabiegów technologicznych, w zł·DJP⁻¹·rok⁻¹**

Nr obory	Jednostkowe koszty eksploatacji					
	k _{eb}	k _{eI}	k _{eII}	k _{eIII}	k _{eIV}	k _e
1	248,68	338,57	490,74	272,68	19,67	1370,34
2	205,85	660,24	957,10	212,70	0,34	2036,23
3	248,42	1285,78	2251,47	418,65	0,36	4204,68
4	144,87	389,92	1662,65	747,85	5,52	2950,81

5.5.3. Końcowa ocena i wybór rozwiązań najkorzystniejszych

Podstawowym funkcją modelu oceny są jednostkowe koszty eksploatacji dążące do minimum (**funkcja celu**)

$$k_{je} \rightarrow \text{minimum} \quad [\text{zł} \cdot \text{rok}^{-1} \cdot \text{DJP}^{-1}]$$

przy następujących ograniczeniach:

a) jednostkowych nakładów energii

$$E_{j1} \leq E_0 \quad [kWh \cdot DJP^{-1} \cdot rok^{-1}]$$

gdzie:

E_{j1} – jednostkowe uzyskane nakłady energetyczne;

E_0 – jednostkowe stanowiące ograniczenia nakłady energetyczne określone np. przez obowiązujące zalecenia, zmierzające do poprawy efektywności energetycznej produkcji.

b) stężenia gazów cieplarnianych i amoniaku

$$W_{GHG} \leq W_{grGHG} [ppm]$$

$$W_{CO_2} \leq W_{grCO_2} [ppm]$$

$$W_{H_2S_3} \leq W_{grH_2S} [ppm]$$

$$W_{NH_3} \leq W_{grNH_3} [ppm]$$

gdzie:

W_{GHG} – stężenie gazu cieplarnianego [ppm];

W_{grGHG} – graniczne stężenie gazu cieplarnianego [ppm]

$$W_{grCO_2} \leq 3000 \text{ ppm}$$

$$W_{grH_2S} \leq 0,5 \text{ ppm}$$

$$W_{grNH_3} \leq 20 \text{ ppm}$$

c) jednostkowych kosztów inwestycyjnych

$$k_{ij} \leq k_{igr} [zł \cdot DJP^{-1}];$$

gdzie:

k_{ij} – jednostkowe koszty inwestycyjne proponowanego obiektu [$zł \cdot DJP^{-1}$];

k_{igr} – jednostkowe koszty inwestycyjne możliwe do zrealizowania przez inwestora:

$k_{igr} = 15\,000$ $zł \cdot DJP^{-1}$ dla obór o wysokim, V poziomie mechanizacji,

$k_{igr} = 27\,000$ $zł \cdot DJP^{-1}$ dla obór w pełni zrobotyzowanych.

d) jednostkowych nakładów robocizny

$$n_{rgr} = 5 \text{ rbmin} \cdot DJP^{-1}$$

Obory spełniające ograniczenia do funkcji celu:

- kryterium jednostkowych nakładów energii: obora nr 3 i 4
- kryterium stężeń szkodliwych gazów: obora nr 1, 2, 3, 4
- kryterium nakładów robocizny: obora nr 1, 3 i 4
- kryterium stężeń szkodliwych gazów: obory nr 1, 2, 3 i 4
- Obory spełniające wszystkie ograniczenia: obora nr 3 i 4

5.6. Zastosowanie odnawialnych źródeł energii w oborach nr 3 i nr 4**5.6.1. Wykorzystanie wymienników ciepła**

Wymiennikiem ciepła jest urządzenie, gdzie następuje wymiana ciepła pomiędzy czynnikiem grzewczym o wyższej temperaturze a czynnikiem ogrzewanym o niższej temperaturze. Wymiennik współprądowy to taki, w którym czynnik grzewczy płynie w tym samym kierunku, co czynnik ogrze-

wany. Wymiennik przeciwprądowy to taki, w którym czynnik grzewczy przepływa przez wymiennik w kierunku przeciwnym do czynnika ogrzewanego. Wymienniki współprądowe i przeciwprądowe są wymiennikami przepływowymi. Wymienniki przeciwprądowe są mniejsze niż wymienniki współprądowe przy tej samej mocy cieplnej. Najnowszą generacją wymienników pojemnościowych są zasobniki warstwowe. Zasobnik warstwowy to zbiornik na ciepłą wodę bez wężownicy. Zasobnik ten połączony jest z płytowym wymiennikiem ciepłej wody, zadaniem którego jest podgrzewanie wody znajdującej się w zasobniku warstwowym. Dzięki nowej konstrukcji i zmianie sposobu podgrzewania ciepłej wody, zasobniki warstwowe są o połowę mniejsze niż tradycyjne pojemnościowe podgrzewacze, a czas podgrzania wody jest również krótszy. Płytowe wymienniki ciepła charakteryzują się bardzo intensywną wymianą ciepła pomiędzy czynnikiem grzewczym a ogrzewanym. Są to w wymienniki typu woda – woda, przepływowe, pracujące z reguły jako przeciwprądowe. Zbudowane są z płyt miedzianych lub z płyt ze stali nierdzewnej, łączonych przez skręcanie lub lutowanie. Charakteryzują się wysokim współczynnikiem wymiany ciepła, małymi wymiarami przy dużych mocach cieplnych, wysoką odpornością na zmiany ciśnienia i temperatury, prostym i łatwym montażem.

5.6.2. Odzysk ciepła podczas chłodzenia mleka

a) Obliczenia ilości ciepła jaką można odzyskać podczas schładzania mleka od jednej krowy w ciągu jednego roku

Temperatura mleka po doju wynosi + 38°C. Według wymagań norm mleko należy schłodzić w ciągu maksimum 4 godzin do temperatury + 4°C.

Określenie ciepła właściwego mleka o temperaturze + 38°C (311°K):

$$C_{ml} = 444 + 609,56 \ln 311 = 3943 \text{ J}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{K}) = 3,943 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{K})$$

Określenie gęstości mleka (T – temperatura mleka; f – zawartość tłuszczu w mleku)

$$\xi_{ml} = 1166 - 0,45 T - 1,46 f \cdot T + 321,6 f =$$

$$1166 - 0,45 \cdot 311 - 1,46 \cdot 0,04 \cdot 311 + 321,6 \cdot 0,04 = 1021 \text{ kg/m}^3$$

Określenie ilości ciepła odzyskanego w procesie schładzania mleka od jednej krowy w ciągu doby (m_d – masa mleka udojonego w ciągu doby od jednej krowy; t – różnica temperatur mleka po doju i mleka schłodzonego), przyjmując, że jedna krowa wyprodukuje w ciągu doby mleko o objętości $V_d = 0,016 \text{ m}^3$:

$$Q_d = C_{ml} \cdot m_d \cdot t = C_{ml} \cdot V_d \cdot \xi_{ml} \cdot t = 2185 \text{ kJ} = 0,607 \text{ kWh}$$

Roczna ilość ciepła odzyskanego podczas schładzania mleka od jednej krowy wyniesie:

$$Q_r = 365 \cdot Q_d = 221,5 \text{ kWh}$$

b) Odzysk ciepła podczas chłodzenia mleka w oborach nr 3 i nr 4

Ponieważ w oborze numer 3 znajduje się 70 krów dojonych robotem udojowym jedno stanowiskowym więc odzyskana ilość ciepła od mleka na dobę wyniesie 152 950 kJ co daje 42,49 kWh energii. Natomiast roczny odzysk ciepła podczas chłodzenia mleka w oborze numer 3 wyniesie 55826,750 MJ co stanowi 15 508,85 kWh energii.

W oborze numer 4 znajduje się 144 krowy dojone w dojarni tandem na osiem stanowisk. Dobowy odzysk ciepła podczas chłodzenia mleka wyniesie 314 640 kJ co stanowi 87,408 kWh energii. Roczny odzysk ciepła podczas chłodzenia mleka w oborze numer 4 wyniesie 114 843,60 MJ co daje 31 903,92 kWh energii.

5.7. Badania porównawcze obór dla bydła mlecznego w zakresie zabiegu II – przygotowania i zadawania pasz (o różnym systemie żywienia)

Efekty produkcyjne uzyskiwane od bydła są wypadkową wpływu czynników genetycznych i środowiskowych, spośród których największe znaczenie ma racjonalne żywienie. Pozwala ono bowiem najszybciej uzyskać wzrost wydajności zwierząt. Szacuje się, że w okresie ostatnich 35 lat wzrost wydajności mleka, aż w 80% osiągnięto dzięki poprawie i racjonalizacji żywienia, a jedynie w 20% przez doskonalenie cech genetycznych [BISAGLIA I IN. 2012; GANCARZ, ROMANIUK 2000; KRZYŻEWSKI, REKLEWSKI 1997]. Troska więc hodowcy i producenta powinna zmierzać w kierunku zachowania właściwej równowagi między potencjałem genetycznym zwierzęcia a żywieniem, które należy mu zapewnić, aby uzyskać dobre efekty produkcyjne i zdrowotne [OBERSCHÄTZL I IN. 2015; HAIDN 2014; GROTHMANN, NYDEGGER 2013].

Racjonalne żywienie powinno spełniać następujące warunki:

- skarmiane pasze powinny pokrywać w pełni zapotrzebowanie zwierząt na składniki energetyczne, białko, witaminy i sole mineralne,
- pasze obok zadowalającej ilości, powinny charakteryzować się dobrą jakością, odpowiadającą przyjętym standardom,
- stosowany sposób żywienia powinien gwarantować prawidłowy przebieg procesów rozrodczych oraz dobry stan zdrowia zwierząt, które są podstawowymi czynnikami sprzyjającymi długowieczności i decydującymi o efektach ekonomicznych produkcji,
- pasze dla bydła mlecznego powinny być skarmione w postaci mieszanki pełnodawkowej (np. TMR), zmiksowanej w wozie paszowym pasze objętościowe, treściwe i mineralne,
- skarmiane pasze powinny być możliwie tanie, gdyż ich koszt w zależności od kierunku produkcji stanowi 50-70% wszystkich ponoszonych kosztów, związanych z uzyskaniem produktów w chowie bydła.

6. UWARUNKOWANIA INWESTYCYJNE I BUDOWLANE PRZY ZASTOSOWANIU ROBOTÓW DO DOJU, PRZYGOTOWANIA, ZADAWANIA PASZ OBJĘTOŚCIOWYCH

Modernizacja gospodarstw rolnych jest procesem kapitałochłonnym, lecz dzięki wsparciu finansowym UE staje się możliwym dla coraz większej ilości gospodarstw rolnych. Istotnym elementem potencjału wytwórczego gospodarstw rolnych są rzeczowe środki trwałe w postaci budynków i budowli rolniczych oraz maszyn i urządzeń technicznych.

Nowoczesne maszyny i urządzenia umożliwiają stosowanie nowych technologii, które przyczyniają się do obniżenia kosztów produkcji, wzrostu wydajności, zwiększenia skali produkcji, poprawy warunków pracy w gospodarstwie rolnym. Inwestycje rozwojowe zwiększające stan posiadania majątku trwałego w postaci budynków i budowli rolniczych umożliwiają zwiększenie zdolności produkcyjnych gospodarstw rolnych szczególnie specjalizujących się w produkcji zwierzęcej.

Budowlane uwarunkowania inwestycyjne są zróżnicowane:

- a) natury administracyjnej
- b) wynikające z technologii
- c) wynikające z wiedzy, świadomości rolnika
- d) ekonomiczne
- e) sytuacji demograficznej w gospodarstwie

W niniejszym opracowaniu ograniczono się do określenia punktów a) i b).

6.1. Uwarunkowania natury administracyjnej, prawne budowlane dla realizacji obiektów przeznaczonych dla bydła

Decyzja o środowiskowych uwarunkowaniach, jest to dokument uzyskiwany w ramach procedury oceny oddziaływania przedsięwzięcia na środowisko. Ocenę oddziaływania przedsięwzięcia na środowisko przeprowadza się w ramach etapów procesu inwestycyjnego:

- postępowania w sprawie decyzji o warunkach zabudowy i zagospodarowania terenu,
- postępowania w sprawie wydania decyzji o środowiskowych uwarunkowaniach,
- postępowania w sprawie wydania decyzji o pozwoleniu na budowę.

Decyzja o warunkach zabudowy i zagospodarowania terenu wymagana jest tylko w przypadku, gdy na danym terenie nie obowiązuje miejscowy plan zagospodarowania przestrzennego. W przypadku, gdy istnieje plan inwestor musi uzyskać tylko pozwolenie na budowę poprzedzone decyzją o środowiskowych uwarunkowaniach. Gminy w dużej mierze nie posiadają miejscowych planów zagospodarowania przestrzennego, dlatego też istnieje konieczność uzyskania decyzji o warunkach zabudowy.

Decyzja o warunkach zabudowy i zagospodarowania przestrzennego terenu jest dokumentem informacyjnym i nie wynikają z niego żadne prawa do realizacji inwestycji. Jest ona wiążąca dla organu wydającego pozwolenie na budowę. W decyzji zawarte są istotne uwarunkowania inwestycyjne, bez spełnienia których planowane przedsięwzięcie nie będzie mogło być zrealizowane. Decyzja wydawana jest w przypadku, gdy spełnione są następujące warunki:

- 1) co najmniej jedna działka sąsiednia dostępna z tej samej drogi publicznej jest zabudowana w sposób pozwalający na określenie wymagań dotyczącej nowej zabudowy w zakresie kontynuacji funkcji, parametrów, cech i wskaźników kształtowania zabudowy oraz zagospodarowania terenu, w tym gabarytów i formy architektonicznej obiektów budowlanych linii zabudowy oraz intensywności wykorzystania terenu,
- 2) teren ma dostęp do drogi publicznej,
- 3) istniejące lub projektowane uzbrojenie terenu jest wystarczające dla uzyskania zgody na zmianę,

- 4) teren nie wymaga uzyskania zgody na zmianę przeznaczenia gruntów rolnych i leśnych na cele nierolnicze i leśne,
- 5) decyzja jest zgodna z odrębnymi przepisami (w tym z przepisami z zakresu ochrony środowiska).

W tym miejscu warto dodać, iż w przypadku planowania inwestycji związanej bezpośrednio z działalnością rolniczą np. budynek inwentarski, zbiornik na płynne odchody rolnicze, można te obiekty realizować na gruntach rolnych bez potrzeby ich odrolniania. Grunty pod obiektami służącymi działalności rolniczej pozostają gruntami rolnymi.

Wymagania zawarte w decyzji o warunkach zabudowy i zagospodarowania terenu w przypadku braku miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego muszą być uwzględnione w projekcie budowlanym i projekcie zagospodarowania działki.

Szczegółowe wymagania zawarte w Rozporządzeniu [2003] odnoszą się do:

- linii zabudowy,
- wskaźnika wielkości powierzchni nowej zabudowy w stosunku do powierzchni działki,
- szerokości elewacji frontowej znajdującej się od strony frontu działki,
- wysokości górnej krawędzi elewacji frontowej,
- geometrii dachu (kąta nachylenia, wysokości głównej kalenicy, układu połączeń dachowych, kierunku głównej kalenicy w stosunku do frontu działki).

Uzyskanie decyzji o środowiskowych uwarunkowaniach jest wymagane zgodnie z Ustawą [2008] dla planowanych:

- przedsięwzięć mogących zawsze znacząco oddziaływać na środowisko, do których zalicza się chów lub hodowlę zwierząt w liczbie nie mniejszej niż 210 DJP,
- przedsięwzięć mogących potencjalnie znacząco oddziaływać na środowisko, do których zalicza się:
 - chów lub hodowlę zwierząt w liczbie nie mniejszej niż 60 DJP
 - chów lub hodowlę zwierząt w liczbie nie mniejszej niż 40 DJP, jeśli ta działalność prowadzona będzie:

- a) w odległości mniejszej niż 100 m od terenów mieszkaniowych, innych zabudowanych z wyłączeniem cmentarzy i grzebowisk dla zwierząt, zurbanizowanych niezabudowanych, rekreacyjno-wypoczynkowych,
- b) na obszarach objętych formami ochrony przyrody lub w otulinach form ochrony przyrody.

Pozwolenie na budowę może być wydane, gdy planowana inwestycja nie narusza praw właścicieli, użytkowników wieczystych lub zarządców nieruchomości znajdujących się w obszarze oddziaływania obiektu. Obszar oddziaływania obiektu jest to teren wyznaczony w otoczeniu obiektu budowlanego wprowadzający związane z tym obiektem ograniczenia w zagospodarowaniu tego terenu.

W przepisach prawa budowlanego wprowadzono wymagania zachowania odległości między obiektami, których to przestrzeganie jest warunkiem koniecznym dla uzyskania decyzji o pozwoleniu na budowę. Zachowanie odległości dotyczy budynków jak i budowli rolniczych od innych obiektów budowlanych i granic nieruchomości.

Na podstawie powyższej analizy przepisów prawa można stwierdzić, iż istnieje szereg uwarunkowań, które w znacznym stopniu ograniczają inwestycje w postaci budynku inwentarskiego wyposażonego w roboty. Podstawowym jest wielkość stada. Dla stada 60 krów wymagane jest uzyskanie pozytywnej decyzji o środowiskowych uwarunkowaniach, co w wielu przypadkach będzie niemożliwe. Wprowadzenie robotów udojowych jest zasadne dla stada 60 krów i jego wielokrotności (120, 180, 240 szt.). Na obszarach zurbanizowanych, podmiejskich czy obszarach objętych formami ochrony przyrody praktycznie wprowadzenie robotów udojowych jest niemożliwe. Ograniczenia szerokości ściany frontowej budynku obory również uniemożliwiają budowę obór wielorzędowych od strony frontu działki. Obory wyposażone w roboty są zazwyczaj oborami wielorzędowymi o rozpiętościach od 15 m.

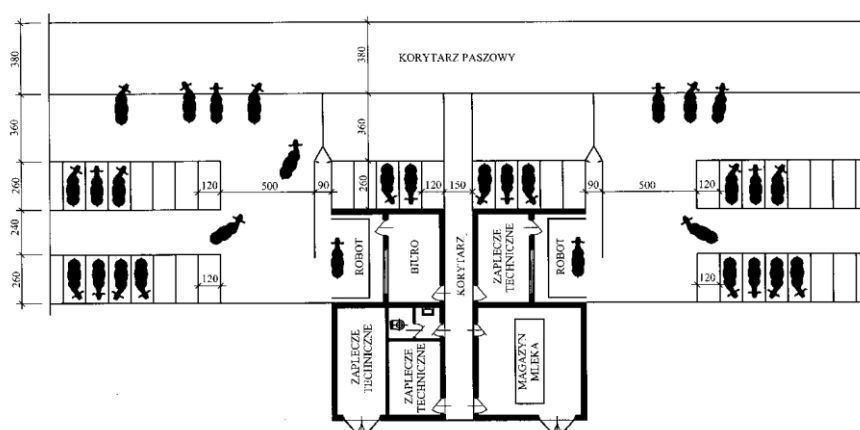
6.2. Uwarunkowania budowlane wynikające z technologii

6.2.1. Obszar wypoczynkowy dla krów mlecznych

Podstawowym systemem utrzymania krów mlecznych w oborach z zastosowanym robotem udojowym jest system wolnostanowiskowy z boksami legowiskowymi. Istnieje możliwość zainstalowania robota udojowego w oborach z systemem utrzymania na ściółce głębokiej, płytkiej oraz z systemem samospławnym. Powyższe dwa systemy z robotem udojowym nie znalazły jak dotychczas w Polsce praktycznego zastosowania.

Wielkość obszaru wypoczynkowego, ilość stanowisk musi być dostosowana do głównego urządzenia – robota udojowego. Techniczne parametry robota ograniczają grupę do ok. 60 szt. krów. Dla tej ilości należy rozwiązać obszar wypoczynkowy. Dla większej ilości krów wymagane jest zainstalowanie 2 robotów, co z kolei wymaga zwiększenia obsady do 120 szt.

Ekonomicznie nieuzasadnione jest instalowanie robota dla 20, 30, a nawet 40 szt. krów. Rozwiązanie z 2 robotami przedstawiono na rysunku 6.1.

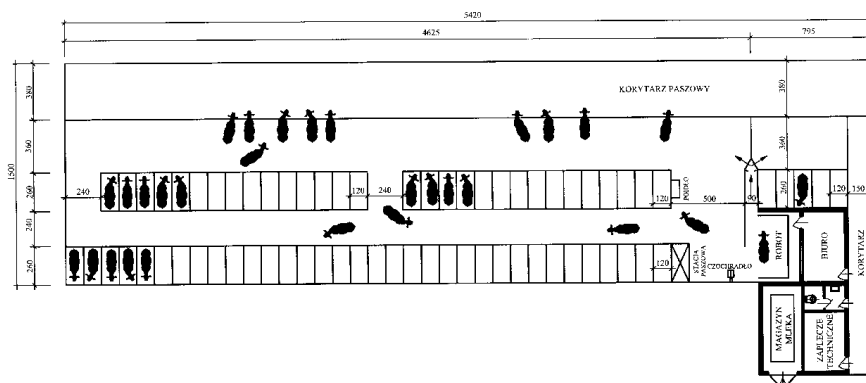


Rys. 6.1. Fragment obory z dwoma robotami udojowymi
[opracowanie własne]

Praktycznie możliwe są następujące rozwiązania obszaru wypoczynkowego w oborach z robotem udojowym dla obsady około 60 szt.

a) obora wolnostanowiskowa boksowa dwurzędowa (rys. 6.2)

- min. rozpiętość budynku 40,80 m
- długość budynku 54,20 m
- długość obszaru wypoczynkowego 15,00 m
- powierzchnia budynku 852,60 m²
- min. powierzchnia budynku na 1 stanowisko 13,32 m²
- obsada 64 szt.



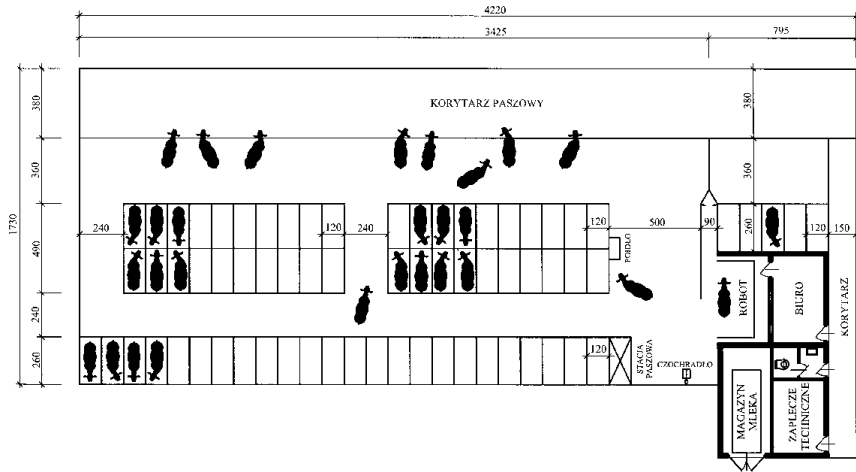
Rys. 6.2. Obora wolnostanowiskowa boksowa dwurzędowa z robotem udojowym [opracowanie własne]

Obora dwurzędowa należy do budynków inwentarskich o najmniejszej rozpiętości i jednocześnie generująca największą wymaganą jednostkową powierzchnię budynku w odniesieniu do stanowiska. W budynku występują korzystne warunki dostępu do stołu paszowego, dobry jest wgląd na stado, niekorzystnym jest natomiast odległość do robota udojowego max. 46 m.

b) obora wolnostanowiskowa boksowa trójrzędowa z boksami pod ścianą (rys. 6.3)

- min. rozpiętość budynku 17,30 m
- długość budynku 42,20 m

- długość obszaru wypoczynkowego 34,25 m
- powierzchnia budynku 754,06 m²
- min. powierzchnia budynku na 1 stanowisko 11,78 m²
- obsada 64 szt.



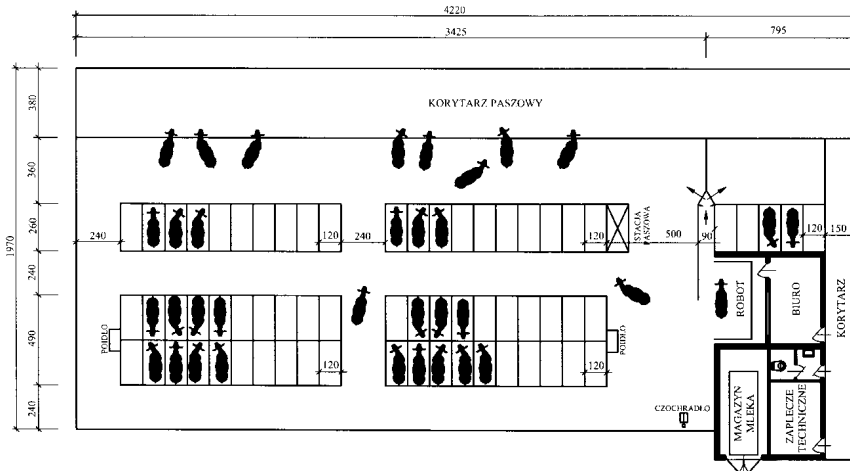
Rys. 6.3. Obora wolnostanowiskowa boksowa trójrzędowa z rzędem boksów pod ścianą i robotem udojowym [opracowanie własne]

Obora trójrzędowa charakteryzuje się najmniejszą wymaganą jednostkową powierzchnią budynku w odniesieniu do 1 stanowiska (legowiska). W budynku występują dobre warunki do kontroli wzrokowej stada i dostępu do stołu paszowego. Rozpiętość konstrukcyjna budynku jest większa o 15% w porównaniu z budynkiem obory dwurzędowej, natomiast długość budynku ulega zmniejszeniu o 22%. Z powyższego można wysunąć wniosek, że budynek obory 3-rzędowej z jednym rzędem boksów pod ścianą będzie tańszym rozwiązaniem aniżeli budynek obory 2-rzędowej.

c) obora wolnostanowiskowa boksowa trójrzędowa (rys. 6.4)

- min. rozpiętość budynku 19,70 m
- długość budynku 42,20 m

- długość obszaru wypoczynkowego 34,25 m
- powierzchnia budynku 841,24 m²
- min. powierzchnia budynku na 1 stanowisko 14,02 m²
- obsada 60 szt.



Rys. 6.4. Obora wolnostanowiskowa boksowa trójrzędowa z robotem udojowym [opracowanie własne]

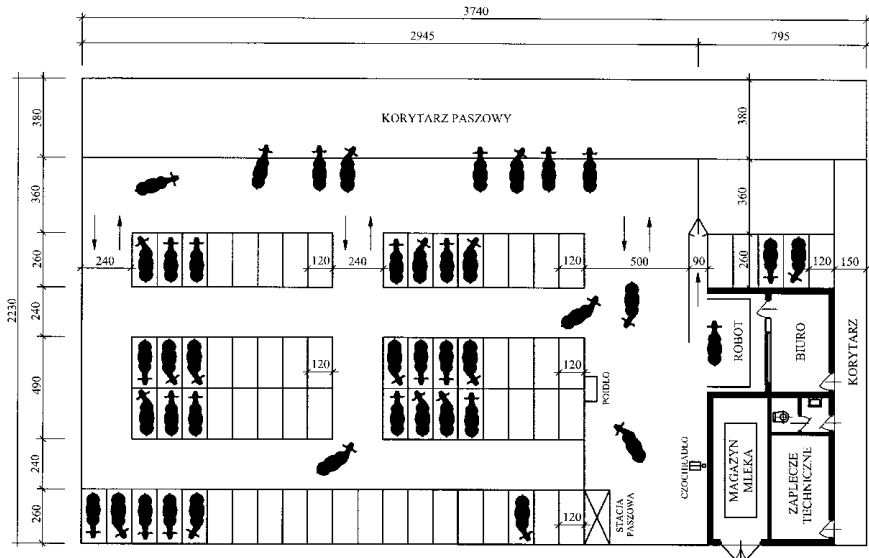
Obora trójrzędowa charakteryzuje się największą wymaganą jednostkową powierzchnią budynku w odniesieniu do 1 stanowiska (legowiska). W budynku występują dobre warunki do kontroli wzrokowej stada i dostępu do stołu paszowego. Rozpiętość konstrukcyjna budynku jest większa o 31% w porównaniu z budynkiem obory dwurzędowej, natomiast długość budynku ulega zmniejszeniu o 22%. Budynek obory 3-rzędowej będzie najdroższym rozwiązaniem z rozpatrywanych obiektów.

d) obora wolnostanowiskowa boksowa czterorzędowa (rys. 6.5)

- min. rozpiętość budynku 22,30 m
- długość budynku 37,40 m
- długość obszaru wypoczynkowego 29,40 m

6. UWARUNKOWANIA INWESTYCYJNE I BUDOWLANE PRZY ZASTOSOWANIU...

- powierzchnia budynku 834,02 m²
- min. powierzchnia budynku na 1 stanowisko 12,27 m²
- obsada 68 szt.



Rys. 6.5. Obora wolnostanowiskowa boksowa czterorzędowa z robotem udojowym [opracowanie własne]

W oborze czterorzędowej droga krów do robota udojowego jest najkrótsza. Jednak w oborze tej, dostęp do stołu paszowego jest ograniczony, występują utrudnione warunki do kontroli wzrokowej stada, rozpiętość budynku jest większa o 23% od budynku obory trójrzędowej z rzędem boksów pod ścianą, natomiast długość budynku jest mniejsza tylko o 11%, więc koszt konstrukcji będzie większy w porównaniu z budynkiem obory trójrzędowej.

6.2.2. Swobodny ruch krów mlecznych - rozwiązanie technologiczne

Swobodny ruch krów pozwala na dojście i przebywanie w obszarze paszowym w każdej chwili bez ograniczeń, a w szczególności bez konieczności przejścia do robota udojowego. Zwierzęta mogą pobierać paszę bezwarunkowo. Problemem w tym rozwiązaniu może być wychwycenie krów niechętnych do doju i nauczenie odwiedzania robota udojowego. Cechą charakterystyczną dla tego rozwiązania jest wskaźnik szerokości przejść na szt. bydła. Szerokość przejścia do obszaru paszowego wpływa na parametry geometryczne budynku obory. Minimalna szerokość przejścia wynosi 90 cm. Wyniki otrzymane dla badanych obiektów przedstawiono w tabeli 6.1.

Tabela 6.1. Wyniki badań opisujące swobodę w ruchu krów mlecznych w omawianych obiektach

Nr obiektu	Szerokość przejść [m]	Wskaźnik [m/szt.]
Obiekt 1 Obora dwurzędowa	9,80 (2,40+2,40+5,00)	0,15
Obiekt 2 Obora trójrzędowa z boksami pod ścianą	9,80 (2,40+2,40+5,00)	0,15
Obiekt 3 Obora trójrzędowa	9,80 (2,40+2,40+5,00)	0,16
Obiekt 4 Obora czterorzędowa	9,80 (2,40+2,40+5,00)	0,14

6.2.3. Ograniczony, kierowany ruch krów mlecznych - rozwiązanie technologiczne

W tym rozwiązaniu dojście zwierząt do obszaru paszowego jest możliwe przez bramki identyfikujące robota udojowego. Na stanowisku następuje identyfikacja krowy i udój lub przepędzenie krowy korytarzem do obszaru paszowego lub obszaru selekcji. W celu ograniczenia angażowania niepotrzebnie robota przez krowy, które nie będą dojone, stosowane są rozwiązania ze wstępną selekcją krów. Takie rozwiązanie odciąża robot udojowy i podnosi jego wydajność, lecz powoduje zwiększenie kosztów montażu dodatkowej bramki i zwiększa powierzchnię budynku obory potrzebną na wykonanie korytarza dojścia do obszaru paszowego.

Powrót krów z obszaru paszowego na legowiska następuje przez jednokierunkowe bramki o szerokości 0,90 m każda. Rozwiązania dla obór dwurzędowej, trójrzędowej i czterorzędowej przedstawiono w tabeli 6.2. Otrzymany wskaźnik 0,04 m/szt. oznacza, że na standardową szerokość przejścia równą 90 cm przypada około 22 sztuki bydła.

Tabela 6.2. Wyniki badań opisujące kierunkowy ruch krów mlecznych w omawianych obiektach

Nr obiektu	Szerokość przejść [m]	Wskaźnik [m/szt.]
Obiekt 1	2,70 (0,90+0,90+0,90)	0,04
Obiekt 2	niemożliwy do realizacji	niemożliwy do realizacji
Obiekt 3	2,70 (0,90+0,90+0,90)	0,04
Obiekt 4	2,70 (0,90+0,90+0,90)	0,04

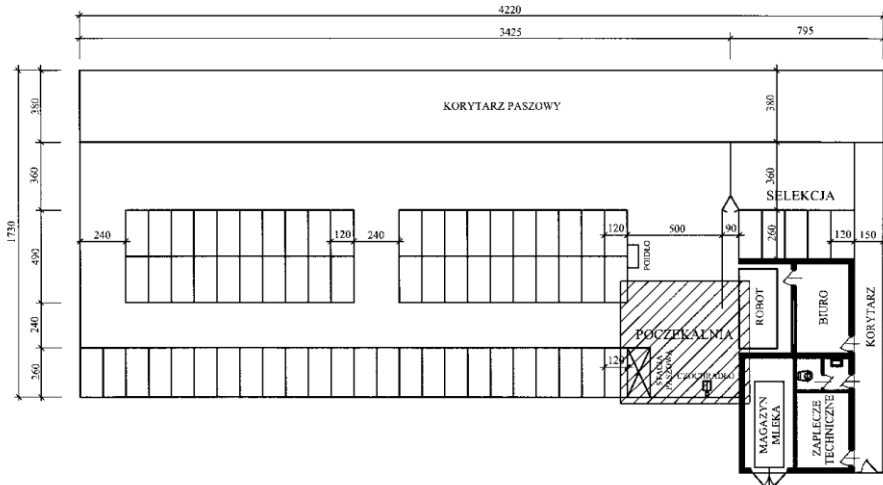
6.2.4. Obszar poczekalni

W obszarze poczekalni (rys. 6.6) ruch zwierząt powinien być wolny, swobodny bez sytuacji powodujących stres. Powierzchnia poczekalni powinna wynosić 20-25 m². Wynika to z potrzeby zagwarantowania komfortu oczekiwania krów na udój, przy ilości krów 5-7 szt. i wskaźniku 3-5 m²·szt.⁻¹

Obszar poczekalni powinien znajdować się w bezpośrednim sąsiedztwie z robotem udojowym i być widocznym dla wszystkich zwierząt. Droga do poczekalni nie powinna być dłuższa niż 50 m.

Kształt poczekalni powinien być zbliżony do kwadratu i umożliwiać łatwe oddzielanie się (odłączenie) krowy od oczekującej grupy. W poczekalni należy stworzyć warunki, które nie będą zniechęcały krowy do przychodzenia do robota udojowego. Dobra wentylacja, zwiększona prędkość przepływu powietrza w okresie podwyższonych temperatur, osłona przed promieniami słonecznymi, dodatkowo zainstalowane poidła korytowe, czochradło, automat z paszą treściwą zachęcą do przyjścia krów do poczekalni.

Czystość w obszarze pracy robota udojowego zależy w dużym stopniu od czystości w poczekalni. Ze znanych rozwiązań skutecznym jest zastosowanie podłogi szczelinowej z robotem sprzątającym [ROMANIUK I IN. 2014]. Już samo zainstalowanie podłogi szczelinowej daje zadawalające efekty. Intensywny ruch zwierząt w oborze powoduje przydeptywanie kału przez szczeliny podłogi do kanału gnojowicowego.



Rys. 6.6. Obora trójrzędowa z zaznaczonym obszarem poczekalni [opracowanie własne]

Tabela 6.3. Wyniki badań opisujące obszar poczekalni w omawianych obiektach

Nr obiektu	Długość [m]	Szerokość [m]	Powierzchnia [m ²]	Max.odlegl. do robota [m]
Obiekt 1	5	5	25	46
Obiekt 2	5	5	25	42
Obiekt 3	5	5	25	34
Obiekt 4	5	5	25	29

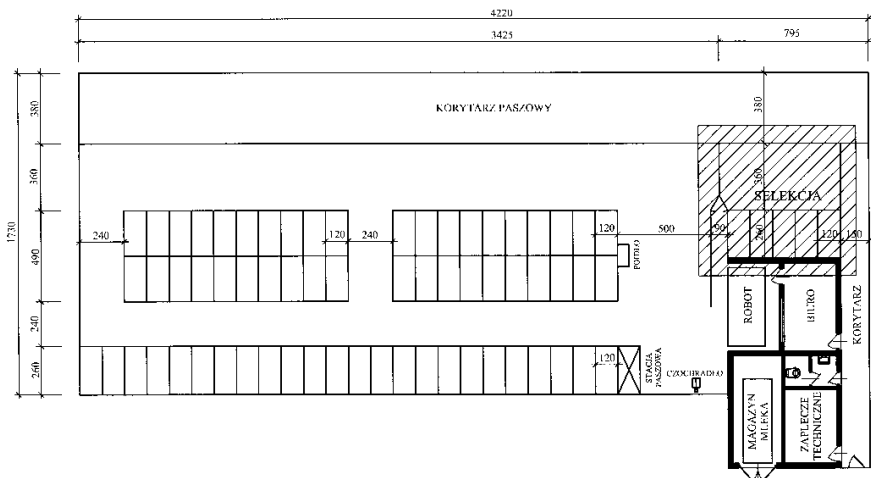
W obiektach 1, 2, 3, 4 występuje obszar poczekalni, powierzchnia wynosi 25 m² i kształtem zbliżona jest do kwadratu (tab. 6.3). Odległość do robota we

wszystkich obiektach wynosi poniżej 50 m. Spełnione są wymagania w zakresie zachowania maksymalnej odległości do robota oraz minimalnej powierzchni.

6.2.5. Obszar selekcji

Obszar selekcji krów (rys. 6.7) tworzy się dla umożliwienia odłączenia od stada krów mlecznych z uwagi na potrzebę np. przeprowadzenia zabiegów terapeutycznych. Wydzielony obszar powinien być wyposażony w legowiska o wymiarach określonych w standardach technologicznych. W rozwiązaniach obór boksowych, będą to legowiska boksowe natomiast w oborze z głęboką ściółką legowiska na ściółce. Odseparowane zwierzęta muszą mieć również łatwy dostęp do paszy i podłła.

Maksymalna ilość zwierząt przebywających w obszarze separacji wynosi do 10% stada. Dla stada obsługiwanego przez 1 robot należy przewidywać 5-6 stanowisk. Selekcja prowadzona jest na wydzielonym korytarzu o szer. 90 cm po wyjściu z robota udojowego. Krowy kierowane są bramką na obszar paszowy lub na obszar separacji.



Rys. 6.7. Obora trójrzędowa z zaznaczonym obszarem selekcji
[opracowanie własne]

Tabela 6.4. Wyniki badań opisujące obszar poczekalni w omawianych obiektach

Nr obiektu	Szerokość korytarza [m]	Ilość stanowisk	Wyposażenie
Obiekt 1	0,90	5	boksy, poidło, dostęp do paszy
Obiekt 2	0,90	5	boksy, poidło, dostęp do paszy
Obiekt 3	0,90	5	boksy, poidło, dostęp do paszy
Obiekt 4	0,90	5	boksy, poidło, dostęp do paszy

W obiektach 1, 2, 3, 4 występują obszary selekcji z korytarzami i bramkami o szerokości 90 cm (tab. 6.4). Wydzielone boksy w ilości 5 sztuk z dostępem do paszy, wody zaspakajają potrzeby czasowo separowanych od stada krów.

PODSUMOWANIE

W opracowaniu poświęconemu metodologii teorii działań maszyn rolniczych i badań technologii chowu zwierząt na przykładzie obór wolnostanowiskowych przedstawiono podstawowe elementy dotyczące teorii działania maszyn rolniczych z uwzględnieniem środowiska, którym jest głównie gleba. Podano teorie zjawisk agrofizycznych, zachodzących w glebie i pomiędzy glebą i roślinami, a środkami technicznymi. Zjawiska zależności i wzajemnej relacji opisano modelami matematycznymi uwzględniając proces energetyczny i biologiczny.

W drugiej części pracy poświęconej metodologii badań zrównoważonej produkcji zwierzęcej na przykładzie obór wolnostanowiskowych przedstawiono:

- ogólne założenie metodyczne wyboru i oceny rozwiązań innowacyjnych technologii w produkcji zwierzęcej na przykładzie obór wolnostanowiskowych,
- sposób wyznaczania zmiennych decyzyjnych, technicznych, ekonomicznych i jakościowych pozwalających na wyznaczenie optymalnych modeli ze względu na określoną funkcję cech i ograniczenia wynikające z potencjału gospodarstwa.

BIBLIOGRAFIA

- BISAGLIA C., BELLE Z., VAN DEN BERG G., JOHANNA C.A.M. POMPE. 2012. Automatic vs. conventional feeding systems in robotic milking dairy farms: a survey in the Netherlands. Proceedings of AgEng 2012 International Conference on Agricultural Engineering (CIGR). Valencia – Spain ss. 1-7.
- BORUSIEWICZ A., MAJCHRZAK M., ROMANIUK W. 2018. Robotyzacja żywienia bydła z uwzględnieniem nakładów energetycznych i odnawialnych źródeł energii w nowoczesnych oborach – monografia pod red. nauk. prof. dr hab. inż. W. Romaniuka. Wyższa Szkoła Agrobiznesu, Łomża.
- CHIGAREV YU.V. 2006. Model prognozowania efektywności rolniczych technologii. XII Międz. Konf. Naukowa „Problemy intensyfikacji produkcji zwierzęcej z uwzględnieniem ochrony środowiska i standardów UE. IBMER. Warszawa s. 297-301.
- CHIGAREV YU.V., DAWIDOWSKI J.B., NOWOWIEJSKI R. 2006. Mekhanobiologicheskiye modeli pochv: Materialy Mezhdun. konf. «Opyt. Problemy i perspektivy razvitiya tekhnicheskogo servisa v APK». CH. 2. Minsk s. 180-186.
- CHIGAREV YU.V., DAWIDOWSKI J.B., NOWOWIEJSKI R. 2005. Opracowanie modelu agroekosystemu z uwzględnieniem ożywionych i nieożywionych składników gleby. Inżynieria Rolnicza. 3(63). Kraków s. 111-117.
- FLOYD A.L. 1968. A Methodology for Trend-Forecasting of Figures of Merit Technological Forecasting for Industry and Government. I.R. Bright. Ed. Englewood Cliffs, Prentice-Hall.
- GANCARZ F., ROMANIUK W. 2000. Systemy żywienia bydła mlecznego. VI Międzynarodowa Konferencja Naukowa s. 138-145.
- GAZZARIN CH. 2011. Maschinenkosten. ART–Bericht 747. Tänikon ss. 56.
- GROTHMANN A., NYDEGGER F. 2013. Robotertechnik für den Futtertisch. Die Landwirtschaft. Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon. Nr 12 ss. 16.
- GANCARZ F. 2007. Koszty mechanizacji procesu żywienia w oborach o obsadzie 40-100 krów. Referat na XIII Międzynarodową Konferencję Naukową s. 179-182.

- Haidn B. 2014. Automatisches Füttern bei Milchkühen – Verfahrenstechnik, Arbeitswirtschaft und Kosten. Automatisches Füttern im rinderhaltenden Betrieb. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, s. 7-20.
- HATRMAN L.M. 1996. Technological Forecasting. B: Multinational Corporate Planning, G.A. Steiner, W. Cannon, Eds. New York, Crowell-Collier.
- KRZYŻEWSKI J., REKLEWSKI Z. 1997. Chów i hodowla zwierząt gospodarskich. Warszawa. SGGW ss. 284.
- MUZALEWSKI A. 2006. Koszty eksploatacji maszyn. Nr 24. Falenty. ITP ss. 52.
- MUZALEWSKI A. 2010. Koszty eksploatacji maszyn. Nr 25. Falenty. ITP. ISBN 978-83-62416-05-9 ss. 56.
- MAZUR K., ROMANIUK W., WINNICKI S., BORUSIEWICZ A., 2018. Innowacyjne rozwiązania technologiczno-budowlane w chowie krów mlecznych – monografia pod red. nauk. prof. dr hab. inż. W. Romaniuka. Wyższa Szkoła Agrobiznesu, Łomża ss. 218.
- OBERSCHÄTZL R., HAIDN B., NEIBER J., NESER S. 2015. Automatic feeding systems for cattle – A study of the energy consumption of the techniques. Environmentally Friendly Agriculture and Forestry for Future Generations. Book of Full Papers of International Scientific XXXVI CIOSTA & CIGR SECTION V Conference, 26-28 May, 2015, Saint Petersburg, Russia. SPbSAU ss. 966.
- ROMANIUK W., BOREK K., BORUSIEWICZ A., MAZUR K., WARDAL W.J. 2018. Analiza rozwiązań technologicznych obór wolnostanowiskowych dla bydła mlecznego – monografia pod red. nauk. prof. dr hab. inż. W. Romaniuka. Wyższa Szkoła Agrobiznesu, Łomża ss. 260.
- ROMANIUK W., FIEDOROWICZ G., BISKUPSKA K. 2011. Analiza standardów technologicznych obór dla krów mlecznych w gospodarstwach rodzinnych i farmerskich. Monografia. Falenty – Warszawa. ITP ss. 66.
- Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 9 listopada 2010 r. w sprawie przedsięwzięć mogących znacząco oddziaływać na środowisko. Dz.U. Nr 213 poz. 1397.
- ROMANIUK W., OVERBY T. 2005a. Systemy utrzymania bydła. Poradnik. Praca zbiorowa. Wyd. II. Warszawa. IBMER, Duńskie Służby Doradztwa Rolniczego ss. 172.

- ROMANIUK W., OVERBY T. 2005b. Magazynowanie nawozów naturalnych. Poradnik. Praca zbiorowa. Wyd. II. Warszawa. IBMER, Duńskie Służby Doradztwa Rolniczego ss. 81.
- ROMANIUK W. 1996. Rozprawa habilitacyjna. Wpływ funkcjonalno-technologicznych rozwiązań obór na energochłonność i koszty produkcji mleka w gospodarstwach rodzinnych. Warszawa. IBMER ss. 136.
- ROMANIUK W., ŁUKASZUK M., DOMASIEWICZ T. 2007. Projektowanie, ocena i wybór rozwiązań obiektów inwentarskich. Problemy Inżynierii Rolniczej. Nr 1. ss. 57-65.
- Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 28 czerwca 2010 r. (a) w sprawie minimalnych warunków utrzymywania gatunków zwierząt gospodarskich innych niż te, dla których normy ochrony zostały określone w przepisach Unii Europejskiej. Dz.U. 2010 Nr 116 poz. 778.
- Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 15 lutego 2010 r. (b) w sprawie wymagań i sposobu postępowania przy utrzymywaniu gatunków zwierząt gospodarskich, dla których normy ochrony zostały określone w przepisach Unii Europejskiej. Dz.U. Nr 56 poz. 344 (z późn. zm.).
- Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 sierpnia 2012 r. w sprawie poziomów niektórych substancji w powietrzu. Dz.U. 2012 poz. 1031.
- Ustawa z dnia 10 lipca 2007 r. o nawozach i nawożeniu. Dz.U. Nr 147 poz. 1033 (z późn. zm.).
- Ustawa z dnia 21 sierpnia 1997 r. o ochronie zwierząt. Dz.U. 1997 Nr 111, poz. 724 (z późn. zm.).

STRESZCZENIE

W pierwszej części pracy przedstawiono teorie działania maszyn rolniczych z uwzględnieniem właściwości środowiska, którym jest głównie gleba. Podana charakterystyka gleby dla różnych uprawianych roślinach okopowych i zbożowych pozwala na odpowiednie kształtowanie konstrukcji maszyn.

Przedstawiono relacje (nacisk na glebę) przez różne ciągniki do napędu maszyn uprawnych pozwalają na kształtowanie technologii uprawy i różnych zabiegów pielęgnacyjnych.

Podana w pracy szczegółowa charakterystyka obrabianej gleby w postaci równania modelowych odwzorowujących relacje gleba–maszyna (element bezpośredniej pracy).

W części drugiej dotyczącej zasady zrównoważonej produkcji zwierzęcej (na przykładzie chowu bydła mlecznego) przedstawiono metodologię badań technologii chowu bydła z uwzględnieniem rozwiązań funkcjonalnych i poziomem mechanizacji poszczególnych zabiegów produkcyjnych.

Przedstawiono metody i model oceny obiektów i wybór rozwiązania najkorzystniejszego z określonych kryteriów np. ekonomicznych, zużycia nakładów energetycznych, czy też ekologicznych.

Zastosowane w pracy metody oceny pozwalają na wybór rozwiązania, które pozwala na produkcje np. mleka, mięsa w ściśle skojarzonych zrównoważonych systemach produkcji.

Słowa kluczowe: *modele, metodologia, gleba, rośliny, maszyny urządzenia, technologia, zrównoważone środowisko, ekonomia, dobrostan, warunki społeczne.*



ISBN 978-83-68680-23-2
publikacja nr 258

