

Paweł Leleń, Mariusz Wasiak

Politechnika Warszawska, Wydział Transportu

WSPÓŁCZYNNIKI PODATNOŚCI TRANSPORTOWEJ ŁADUNKÓW SZYBKO PSUJĄCYCH SIĘ

Rękopis dostarczono: maj 2017

Streszczenie: W artykule przedstawiono sposób liczbowego wyznaczania podatności transportowej ładunków, za pomocą wartości kilkunastu cząstkowych współczynników podatności transportowej. Uwzględnione współczynniki podatności transportowej zostały zidentyfikowane ze względu na szereg kryteriów, uznanych za szczególnie istotne dla oceny podatności transportowej produktów szybko psujących się. Przeanalizowano i przedstawiono sposób wyznaczania wybranych spośród zidentyfikowanych współczynników podatności transportowej. Dobór technologii transportu, uwzględniający opisane współczynniki podatności transportowej, a także kryterium minimalizacji kosztów transportu, powinien przyczynić się do zmniejszenia ryzyka nadmiernego obniżenia jakości lub utraty przewożonego ładunku, a także wzrostu efektywności transportu i bezpieczeństwa przewożonych ładunków.

Słowa kluczowe: podatność transportowa, ładunki szybko psujące się, współczynniki podatności transportowej.

1. WPROWADZENIE

Produkty szybko psujące się posiadają cechy i właściwości, które powodują znaczną lub całkowitą utratą wartości użytkowej tych produktów pod wpływem działania m.in.: zbyt długiego czasu transportu, nieodpowiedniej temperatury i wilgotności otaczającego powietrza, wilgoci, braku odpowiedniego przepływu powietrza, działania światła oraz promieni słonecznych itp. [24]. Produkty szybko psujące się stanowią przede wszystkim produkty żywnościowe oraz pozostałe produkty rolnictwa, sadownictwa i ogrodnictwa, a także wybrane leki i inne produkty medyczne, czy też niektóre substancje chemiczne [31]. Produkty spożywcze, należące do grupy ładunków szybko psujących się charakteryzują się zazwyczaj wysoką zawartością wody, nawet powyżej 90%. Tak wysoka zawartość wody może sprzyjać rozwojowi różnego rodzaju drobnoustrojów, które powodują psucie produktów [22]. W trakcie transportu i magazynowania można zaobserwować między innymi następujące zmiany: ubytek masy, zmiany składu i wartości odżywczych, zmiany cech organoleptycznych (barwy, smaku, zapachu, tekstury), skrócenie trwałości, pojawianie się zanieczyszczeń mikrobiologicznych, chemicznych oraz fizycznych, powstawanie zagrożeń bezpieczeństwa zdrowotnego konsumentów [23].

Podatność transportowa jest określona jako wrażliwość ładunku na czynności zamierzone w transporcie, przy jednoczesnej odporności na ujemne ich skutki i warunki działania. Podatność transportową można rozpatrywać ze względu na cechy fizyczne, chemiczne i biologiczne – tzw. podatność naturalna, ze względu na wymiary, kształt i masę ładunku – tzw. podatność techniczna oraz ze względu na wartość towaru oraz ponoszone koszty jego przemieszczania – tzw. podatność ekonomiczna [17].

Ze względu na niską podatność transportową i magazynową ładunków szybko psujących się do ich przewozu należy zapewnić odpowiedni tabor, wyposażony najczęściej w agregaty chłodnicze, rejestratory temperatury, a często także w urządzenia do modyfikacji składu atmosfery. Nie mniej istotna jest dezynfekcja wnętrza pojazdu przed i po przewozie, a także niedopuszczenie do sytuacji, w której środki dezynfekujące mogłyby się dostać do przewożonych produktów. Nieopakowanych produktów żywnościowych nie wolno przewozić z produktami nienależącymi do żywności [33]. Podczas prawidłowego doboru technologii transportu ładunków szybko psujących się należy uwzględnić również wymagania zawarte w normach prawnych, tj. m.in. w Umowie o międzynarodowych przewozach szybko psujących się artykułów żywnościowych i o specjalnych środkach transportu przeznaczonych do tych przewozów (ATP), przyjętej w Genewie dnia 1 września 1970 r. oraz w Rozporządzeniu Wspólnoty Europejskiej nr 852/2004. Ze względów formalnych podczas transportu produktów żywnościowych należy też zapewnić, spełnienie wymagań, które zostały określone w załączniku I do Rozporządzenia Wspólnoty Europejskiej nr 852/2004. W rozporządzeniu tym znalazł się m.in. wymóg zapewnienia higienicznych warunków produkcji, transportu i składowania produktów żywnościowych. Podczas każdego etapu transportu produktów żywnościowych niezbędne jest zadbanie o ochronę przed zanieczyszczeniami z powietrza, ziemi, wody oraz właściwe zastosowanie innych środków odnoszących się do zdrowia roślin, które mogą mieć wpływ na zdrowie ludzkie [32].

W Umowie ATP zostały uwzględnione klasyfikacje pojazdów do przewozu szybko psujących się artykułów żywnościowych oraz przedstawiono metody znakowania tych pojazdów i metody przeprowadzania ich badań. Określono tam również dopuszczalny czas transportu, który także powinien zostać uwzględniony przy doborze technologii transportu dla wszystkich grup produktów szybko psujących się. Dopuszczalny czas transportu jest określany przy założeniu spełnienia pozostałych wymagań dotyczących parametrów atmosfery w bezpośrednim otoczeniu ładunku oraz nieprzekroczenia dopuszczalnego oddziaływania statycznego i dynamicznego na ładunki [6], [41]. Temperatura w otoczeniu ładunków szybko psujących się podczas transportu w przepisach ATP została określona jako najważniejszy parametr z uwzględnianych przy doborze technologii transportu tych ładunków. Jednak w wielu przypadkach zachowanie tylko parametrów dotyczących temperatury może okazać się niewystarczające, aby dostarczyć ładunek o wymaganej jakości. W związku z tym należy przy doborze technologii transportu uwzględnić szereg parametrów dotyczących, przede wszystkim bezpośredniego otoczenia ładunku, tj.: wilgotność powietrza, skład atmosfery, w szczególności pod kątem zawartości etylenu i ditlenku węgla, narażenia na uszkodzenia mechaniczne, a także parametry dotyczące cech fizycznych ładunków, takie jak poszczególne wymiary oraz masa.

Najważniejsze kryteria doboru technologii transportu produktów szybko psujących się przedstawiono w tabeli 1.

Tablica 1

Wybrane kryteria istotne ze względu na dobór technologii transportu produktów szybko psujących się

Lp.	Kryterium	Cechy, właściwości	Przykładowa literatura
1.	Temperatura	Wrażliwość na zmiany temperatury, wrażliwość na zbyt wysoką i niską temperaturę, zamarzanie w temperaturze krioskopowej.	[2], [5], [6] [9], [11], [13], [14], [15], [16], [18], [24], [25], [26], [31], [34], [37], [40], [41]
2.	Wilgotność	Wrażliwość na zmiany wilgotności, wrażliwość na zbyt wysoką i zbyt niską wilgotność. Nadmierna utrata wody przy zbyt niskiej wilgotności, przyspieszone psucie na skutek zbyt wysokiej wilgotności – nadmierny rozwój drobnoustrojów.	[11], [14], [15], [19], [21], [24], [34], [40]
3.	Wstrząsy i uderzenia	Wysoka wrażliwość na wstrząsy i uderzenia. Przyspieszenie negatywnych zmian, powstawanie obić, otarć, przebić, wyciek soku komórkowego itp.	[1], [7], [8], [14], [20], [24]
4.	Skład atmosfery	Produkty silnie wrażliwe na skład atmosfery. Od składu atmosfery zależy szybkość zachodzenia przemian, w tym szybkość obniżania się jakości na skutek długotrwałego przewozu.	[11], [14], [20], [21], [24], [34], [43],
5.	Czas transportu	Dopuszczalny czas transportu zdeterminowany jest nie tylko rodzajem ładunków, ale w dużej mierze warunkami panującymi podczas przewozu.	[6], [13], [14], [18], [19], [24], [30], [36], [39], [41], [42]
6.	Wymiary i masa	Bardzo zróżnicowany kształt, wymiary, a także masa. Sporadycznie transportowane luzem, zazwyczaj produkty te przed przewozem pakowanie są w opakowania jednostkowe, a następnie w opakowania transportowe.	[24], [27], [28]

2. WSPÓŁCZYNNIKI PODATNOŚCI TRANSPORTOWEJ ŁADUNKÓW SZYBKO PSUJĄCYCH SIĘ

2.1. CEL I METODYKA BADAŃ

Celem badań jest opracowanie zależności analitycznych dla wyznaczania współczynników podatności transportowej produktów szybko psujących się, które posłużą do opracowania modelu doboru multimodalnych technologii transportu produktów szybko psujących się, a w kolejnych etapach badań do sformułowania jednokryterialnych i wielokryterialnych zadań optymalizacyjnych doboru multimodalnych technologii transportu produktów szybko psujących się.

W pierwszym etapie badań problem badawczy stanowiła identyfikacja cech i właściwości ładunków szybko psujących się, które w największym stopniu wpływają na podatność transportową ładunków z tej grupy. Do identyfikacji, istotnych ze względu na podatność

transportową, cech i właściwości ładunków szybko psujących się wykorzystano metodę źródeł zastanych. Dokonano przeglądu literatury i wyników dotychczasowych badań podatności transportowej oraz cech i właściwości ładunków szybko psujących się. Przeanalizowano prace, w których zawarto próby liczbowego wyznaczania podatności transportowej. Podczas identyfikacji współczynników podatności transportowej zwrócono szczególną uwagę na regulacje prawne transportu ładunków szybko psujących się. Przede wszystkim uwzględniono wymagania zawarte w Umowie ATP [41], dotyczącej transportu tych ładunków. W kolejnym etapie, wykorzystano metodę modelowania matematycznego, która pozwala na usystematyzowanie wiedzy oraz opracowanie metod i narzędzi wspomagających prawidłowy dobór technologii transportu [42]. Po odwzorowaniu poszczególnych cech i właściwości ładunków szybko psujących się, zdefiniowano formalne odwzorowania cząstkowych współczynników podatności transportowej ze względu na poszczególne kryteria bezpieczeństwa ładunku. Odwzorowane współczynniki podatności transportowej posłużą do opracowania modelu doboru multimodalnych technologii transportu ładunków szybko psujących się. W modelu tym, dobór technologii transportu do zadań będzie realizowany w oparciu o kryteria bezpieczeństwa ładunku, bezpośrednio związane ze zidentyfikowanymi współczynnikami podatności transportowej, a także w oparciu o kryterium ekonomiczne.

2.2. ZAŁOŻENIA OGÓLNE

Cząstkowe współczynniki podatności transportowej wyróżnione zostały ze względu na wybrane kryteria. Zidentyfikowano kilkanaście cząstkowych współczynników podatności transportowej dobranych dla produktów szybko psujących się. Współczynniki te mogą przyjmować wartości z przedziału od 0 do 1, przy czym im wyższa podatność transportowa ze względu na określone kryterium, tym cząstkowy współczynnik podatności transportowej ma wartość bliższą jedności.

Cząstkowe współczynniki podatności transportowej są elementami składowymi wektora podatności transportowej, który stanowi odwzorowanie podatności transportowej. Każdy z cząstkowych współczynników podatności jest wyznaczany ze względu na określone kryterium, dla ustalonego zadania transportowego, konkretnej technologii transportu oraz czynności wykonywanej w ramach tej technologii, jak również urządzenia które może być zaangażowane do wykonania tej czynności. W przypadku zadań transportowych, w ramach których odbywa się transport kilku rodzajów produktów szybko psujących się jako wartość cząstkowego współczynnika podatności dla ładunków szybko psujących się w ramach tego zadania transportowego, przyjmowana jest najniższa wartość spośród wartości określonego cząstkowego współczynnika wyznaczonych dla poszczególnych produktów szybko psujących się uwzględnionych w danym zadaniu transportowym.

W dalszej części pracy numer zadania transportowego do realizacji oznaczono symbolem z . Zbiór rodzajów ładunków szybko psujących się przeznaczonych do przewozu w ramach z -tego zadania transportowego został oznaczony jako $B(z)$, natomiast numer rodzaju ładunków oznaczono symbolem b , a numer rodzaju postaci transportowej – symbolem p . Numer rodzaju technologii transportu oznaczono symbolem d , kolejne czynności do

wykonania w ramach procesów technologicznych – symbolem e , zaś numer rodzaju środków pracy – symbolem u .

2.3. CZĄSTKOWE WSPÓŁCZYNNIKI PODATNOŚCI TRANSPORTOWEJ

2.3.1. Temperatura w bezpośrednim otoczeniu ładunku

Podczas transportu i przechowywania ładunków szybko psujących się istotna jest zarówno temperatura maksymalna, minimalna, jak i wahania temperatury. W sytuacji, kiedy temperatura w bezpośrednim otoczeniu ładunku będzie niższa od określonej dla danego ładunku temperatury minimalnej, w ładunku może dojść do znacznych niekorzystnych zmian, a gdy temperatura spadnie poniżej temperatury krioskopowej mogą następować zmiany struktury produktu, i w konsekwencji obniżenie jakości w takim stopniu, że produkt będzie przeznaczony do utylizacji. Natomiast, brak przestrzegania zaleceń dotyczących temperatury maksymalnej prowadzi do przyspieszenia zachodzenia niekorzystnych zjawisk, takich jak m.in. wydzielanie energii cieplnej, rozwój drobnoustrojów, dojrzewanie i przemiany biochemiczne. W wyniku tych zjawisk następuje psucie się produktu. Ponadto wszelkie wahania temperatury prowadzą do szybszego zepsucia się produktu i mogą stanowić zagrożenie dla bezpieczeństwa konsumenta finalnego. Przykładowo, podczas transportu świeżych owoców i warzyw wahania temperatury są przyczyną przyspieszenia zjawiska respiracji, na skutek którego jest wydzielane ciepło do otoczenia. Wahania temperatury produktów szybko psujących się nie powinny przekraczać $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ [9]. Większe wahania mogą prowadzić do obniżenia wartości odżywczej produktów, zmiany konsystencji, struktury i wyglądu [25].

W związku z powyższym zidentyfikowano trzy cząstkowe współczynniki podatności transportowej ze względu na:

- maksymalną temperaturę powietrza w bezpośrednim otoczeniu ładunku – w_1 ,
- minimalną temperaturę powietrza w bezpośrednim otoczeniu ładunku – w_2 ,
- wahania temperatury powietrza w bezpośrednim otoczeniu ładunku – w_3 .

Jako przykład współczynnika z tej grupy, szczegółowo przedstawiono cząstkowy współczynnik podatności ze względu na maksymalną temperaturę powietrza w bezpośrednim otoczeniu ładunku. Temperatura powietrza w bezpośrednim otoczeniu ładunku przez cały okres transportu i magazynowania nie powinna przekraczać najniższej temperatury maksymalnej spośród wysokości tej temperatury określonych dla każdego ładunku przemieszczanego w ramach danego zadania transportowego. W cząstkowym współczynniku podatności uwzględniono możliwość zmiany temperatury poprzez postać transportową ładunku (parametr $w_t(p)$). Kiedy postać transportowa ładunku umożliwia regulację temperatury w bezpośrednim otoczeniu ładunku wartość parametru $w_t(p) = 1$. W takiej sytuacji, przy wyznaczaniu współczynnika podatności pod uwagę brana jest najwyższa temperatura związana z postacią transportową. Natomiast w przypadku, gdy postać transportowa nie zapewnia możliwości zmiany temperatury w bezpośrednim

otoczeniu ładunku ($w_t(p) = 0$) uwzględniania jest temperatura maksymalna związana z przestrzenią ładunkową środka przewozowego.

Na potrzeby wyznaczenia cząstkowego współczynnika podatności transportowej ze względu na maksymalną temperaturę powietrza w bezpośrednim otoczeniu ładunku szybko psującego się zdefiniowano maksymalną temperaturę powietrza w bezpośrednim otoczeniu ładunku podczas realizacji e -tej czynności wg technologii d -tego rodzaju przy zaangażowaniu środka pracy u -tego rodzaju $t_{maxd}(d, e, u) \equiv t_{maxd}$:

$$t_{maxd} = [t_{maxr}(u) \cdot [1 - w_t(pt_e(d))] + t_{maxp}(pt_e(d)) \cdot w_t(pt_e(d))] \quad (K) \quad (1)$$

gdzie:

$t_{maxr}(u)$ – maksymalna temperatura powietrza w przestrzeni ładunkowej, przewidywana podczas transportu przy wykorzystaniu środka przewozowego u -tego rodzaju, K,

$w_t(p)$ – parametr odwzorowujący możliwość zmiany temperatury w bezpośrednim otoczeniu ładunku przez postać transportową p -tego rodzaju, przy czym $w_t(p) = 1$, gdy przy wykorzystaniu postaci transportowej p -tego rodzaju następuje zmiana temperatury powietrza w bezpośrednim otoczeniu ładunku, zaś w przeciwnym przypadku $w_t(p) = 0$.

$t_{maxp}(p)$ – maksymalna temperatura powietrza w bezpośrednim otoczeniu ładunku, przewidywana podczas transportu dla postaci transportowej p -tego rodzaju, K,

$pt_e(d)$ – numer rodzaju postaci transportowej dla e -tej czynności wyróżnionej w ciągu technologicznym procesu transportowego realizowanym wg technologii d -tego rodzaju.

Następnie wartość cząstkowego współczynnika podatności transportowej ze względu na maksymalną temperaturę w bezpośrednim otoczeniu ładunku wyrażono wzorem:

$$w_1 = \begin{cases} 0 & \text{gdy } \max_{b \in B(z)} \{t_{kr}(b)\} \geq t_{maxd} \\ e^{-\max_{b \in B(z)} \{t_{kr}(b)\} - \min_{b \in B(z)} \{t_{max}(b)\}} & \text{gdy } \max_{b \in B(z)} \{t_{kr}(b)\} < t_{maxd} \wedge \min_{b \in B(z)} \{t_{max}(b)\} < t_{maxd} \\ 1 & \text{gdy } \max_{b \in B(z)} \{t_{kr}(b)\} < t_{maxd} \leq \min_{b \in B(z)} \{t_{max}(b)\} \end{cases} \quad (2)$$

gdzie:

$w_1 \equiv w(1, z, d, e, u)$ – cząstkowy współczynnik podatności transportowej ze względu na kryterium maksymalnej temperatury w bezpośrednim otoczeniu ładunku, dla realizacji z -tego zadania transportowego wg technologii d -tego rodzaju, w ramach wykonania e -tej czynności procesu technologicznego, przy wykorzystaniu środka pracy u -tego rodzaju,

$t_{max}(b)$ – najwyższa dopuszczalna temperatura w bezpośrednim otoczeniu dla ładunku b -tego rodzaju, K,

$t_{kr}(b)$ – temperatura krioskopowa dla ładunku b -tego rodzaju, K.

2.3.2. Wilgotność w bezpośrednim otoczeniu ładunku

Dla większości ładunków szybko psujących się, w tym produktów żywnościowych wilgotność względna powietrza zalecana podczas transportu i przechowywania zawiera się w przedziale od 75% do 95%. W strefie klimatu umiarkowanego, w której znajduje się Polska, bardzo rzadko jednocześnie występuje wysoka temperatura (powyżej 20°C) oraz wysoka wilgotność względna (powyżej 80%) [35]. Odpowiednia wilgotność powietrza

w przestrzeni ładunkowej jest szczególnie ważna dla produktów, które nie są umieszczone w opakowaniach jednostkowych. Wilgotność, poniżej wartości dopuszczalnych może powodować nadmierną utratę wody z produktów i w wielu przypadkach ich zepsucie. Istnieje grupa produktów, np. warzywa liściowe, dla których 2-3 % ubytek wody oznacza całkowite zepsucie produktu [15]. W przypadku transportu produktów mięsnych ubytki wody mogą dochodzić nawet do 8 %, jednak nie wpływają one na istotne obniżenie jakości [14]. Zbyt wysoka wilgotność powietrza może prowadzić do wchłaniania wody do produktu lub też zbierania się kropelek wody na powierzchni i nadmiernego rozwoju drobnoustrojów, a w konsekwencji do zepsucia mikrobiologicznego transportowanych ładunków. Wahanie wilgotności powietrza w bezpośrednim otoczeniu ładunku wpływają na przyspieszenie procesów związanych z psuciem się produktów, przyczyniają się do znacznego obniżenia dopuszczalnego czasu transportu i jakości dostarczanych produktów.

Uwzględniając powyższe zidentyfikowano trzy cząstkowe współczynniki podatności transportowej ze względu na:

- maksymalną wilgotność powietrza w bezpośrednim otoczeniu ładunku – w_4 ,
- minimalną wilgotność powietrza w bezpośrednim otoczeniu ładunku – w_5 ,
- wahanie wilgotności powietrza w bezpośrednim otoczeniu ładunku – w_6 .

Jako przykładowy współczynnik wyróżniony ze względu na kryterium wilgotności powietrza w artykule szerzej opisano cząstkowy współczynnik podatności transportowej ze względu na wahanie wilgotności powietrza w bezpośrednim otoczeniu ładunku. Na potrzeby wyznaczenia tego współczynnika zdefiniowano maksymalne wahanie wilgotność powietrza spodziewane podczas wykonywania e -tej czynności wg technologii transportu d -tego rodzaju przy zaangażowaniu środka pracy u -tego rodzaju $\Delta\varphi_{rzd}(d, e, u) \equiv \Delta\varphi_d$, wyrażoną w procentach. Wartość ta obliczana jest wg wzoru:

$$\Delta\varphi_d = [\Delta\varphi_{rz}(u) \cdot [1 - w_\varphi(pt_e(d))]] + \Delta\varphi_{rzp}(pt_e(d)) \cdot w_\varphi(pt_e(d)) \quad (\%) \quad (3)$$

gdzie:

$\Delta\varphi_{rz}(u)$ – maksymalne wahanie wilgotności powietrza w przestrzeni ładunkowej przewidywane podczas transportu przy wykorzystaniu środka przewozowego u -tego rodzaju, %,

$\Delta\varphi_{rzp}(p)$ – maksymalne wahanie wilgotności powietrza w bezpośrednim otoczeniu ładunku o postaci transportowej p -tego rodzaju, %,

$w_\varphi(p)$ – parametr odwzorowujący możliwość zmiany wilgotności w bezpośrednim otoczeniu ładunku przez postać transportową p -tego rodzaju, przy czym $w_\varphi(p) = 1$, gdy przy wykorzystaniu postaci transportowej p -tego rodzaju następuje zmiana wilgotności powietrza w bezpośrednim otoczeniu ładunku, zaś w przeciwnym przypadku $w_\varphi(p) = 0$.

Uwzględniając powyższe cząstkowy współczynnik podatności transportowej ze względu na kryterium wahanie wilgotności powietrza w bezpośrednim otoczeniu ładunku został wyrażony za pomocą wzoru:

$$w_6 = \begin{cases} \frac{\min_{b \in B(z)} \{\Delta\varphi_{dop}(b)\}}{\Delta\varphi_d} & \text{gdy } \Delta\varphi_d > \min_{b \in B(z)} \{\Delta\varphi_{dop}(b)\} \\ 1 & \text{gdy } \Delta\varphi_d \leq \min_{b \in B(z)} \{\Delta\varphi_{dop}(b)\} \end{cases} \quad (4)$$

gdzie:

$w_6 \equiv w(6, z, d, e, u)$ – cząstkowy współczynnik podatności transportowej ze względu na kryterium wahań wilgotności powietrza w bezpośrednim otoczeniu ładunku, dla realizacji z -tego zadania transportowego wg technologii d -tego rodzaju, w ramach wykonania e -tej czynności procesu technologicznego, przy wykorzystaniu środka pracy u -tego rodzaju, $\Delta\varphi_{dop}(b)$ – dopuszczalne wahania wilgotności powietrza podczas przewozu ładunku b -tego rodzaju, %.

Wartość cząstkowego współczynnika ze względu na wahania wilgotności przyjmuje wartość równą jeden w przypadku, gdy rzeczywiste wahania wilgotności powietrza w bezpośrednim otoczeniu ładunku są mniejsze, bądź równe od wartości dopuszczalnych.

2.3.3. Skład atmosfery w bezpośrednim otoczeniu ładunku

Dla wielu rodzajów ładunków szybko psujących się, szczególnie przewożonych w opakowaniach przepuszczalnych dla gazów lub luzem zalecane jest wykorzystanie technologii modyfikowanej atmosfery. Wykorzystanie zmodyfikowanej atmosfery ma na celu przede wszystkim ograniczenie spadku jakości transportowanych produktów oraz wydłużenie dopuszczalnego czasu ich transportu.

Skład atmosfery powinien być indywidualnie ustalony dla każdego rodzaju ładunku, uwzględniając wymagania transportowe. Pożądany skład atmosfery w przestrzeni ładunkowej zależy między innymi od rodzaju zastosowanego opakowania, temperatury, przeznaczenia produktu, warunków uprawy, hodowli oraz sposobu przygotowania produktu. Dodatkowo dla świeżych owoców i warzyw należy uwzględnić ich stopień dojrzałości. Większość z ładunków szybko psujących się jest wrażliwych na niskie stężenie tlenu lub wysokie ditlenku węgla. Dla niektórych ładunków, w szczególności świeżych owoców i warzyw, zbyt niska zawartość tlenu, może prowadzić do zapoczątkowania procesu oddychania beztlenowego. Zbyt wysoka zawartości ditlenku węgla może powodować uszkodzenia i oparzenia produktów. W związku z tym istotne jest, aby w przestrzeni ładunkowej zapewnić odpowiedni dla danego ładunku stosunek poszczególnych gazów. Pozwala to zapobiec szybkiemu zepsuciu i wydłużyć dopuszczalny czas transportu [12], [15].

Istotnym zagadnieniem jest również zawartość etylenu w przestrzeni ładunkowej, a także wielkość produkcji tego gazu przez ładunki. Fakt ten szczególnie istotny jest podczas transportu świeżych owoców i warzyw. Poziom wydzielania i wrażliwości na etylen zależy zarówno od gatunku i odmiany, jak i od dojrzałości oraz warunków zewnętrznych (m.in. od temperatury). Ważne jest, aby nie umieszczać w jednej przestrzeni ładunkowej ładunków, które charakteryzują się produkcją etylenu na wysokim poziomie, z ładunkami wrażliwymi na działanie etylenu [38].

Podsumowując zidentyfikowano cząstkowe współczynniki podatności transportowej ze względu na:

- objętość wydzielanego etylenu – w_7 ,
- wrażliwość na działanie etylenu – w_8 ,
- wymóg stosowania modyfikowanej atmosfery w bezpośrednim otoczeniu ładunku – w_9 .

Spośród współczynników z tej grupy w artykule szczegółowo scharakteryzowano cząstkowy współczynnik podatności transportowej ze względu na objętość wydzielanego

etylenu. Na potrzeby wyznaczenia tego współczynnika zdefiniowano ilość etylenu, która może być pochłonięta w czasie 1 godziny z przestrzeni w bezpośrednim otoczeniu ładunku podczas wykonywania e -tej czynności wg technologii d -tego rodzaju przy zaangażowaniu środka pracy u -tego rodzaju $\phi(d, e, u) \equiv \phi_d$, której wartość wyznaczana jest wg wzoru:

$$\phi_d = pg(pt_e(d)) \cdot \phi(u) + \phi_p(pt_e(d)) \quad (\mu\text{l} \cdot \text{h}^{-1}) \quad (5)$$

gdzie:

$pg(p)$ – parametr odwzorowujący przepuszczalność gazów przez jednostkę ładunku o postaci transportowej p -tego rodzaju, przy czym $pg(p) = 1$, gdy postać transportowa p -tego rodzaju charakteryzuje się przepuszczalnością dla gazów, zaś w przeciwnym przypadku $pg(p) = 0$.

$\phi(u)$ – objętość etylenu, która może być usuwana z przestrzeni ładunkowej w jednostce czasu podczas transportu środkiem przewozowym u -tego rodzaju, $\mu\text{l} \cdot \text{h}^{-1}$,

$\phi_p(p)$ – objętość etylenu, która może być pochłonięta z otoczenia ładunków dla postaci transportowej p -tego rodzaju przez jednostkę czasu, $\mu\text{l} \cdot \text{h}^{-1}$.

Uwzględniając powyższe wartość cząstkowego współczynnika podatności transportowej ze względu na objętość wydzielanego etylenu wyznaczana jest z zależności:

$$w_7 = \begin{cases} 1 & \text{gdy } \phi_d \geq \sum_{b \in B(z)} (\rho(b) \cdot m(b, z)) \\ \frac{\phi_d}{\sum_{b \in B(z)} (\rho(b) \cdot m(b, z))} & \text{gdy } \phi_d < \sum_{b \in B(z)} (\rho(b) \cdot m(b, z)) \end{cases} \quad (6)$$

gdzie:

$w_7 \equiv w(7, z, d, e, u)$ – cząstkowy współczynnik podatności transportowej ze względu na kryterium objętości wydzielanego etylenu, dla realizacji z -tego zadania transportowego wg technologii d -tego rodzaju, podczas wykonania e -tej czynności procesu technologicznego, przy wykorzystaniu środka pracy u -tego rodzaju,

$\rho(b)$ – wielkość godzinowej produkcji etylenu podczas transportu 1 kg ładunku b -tego rodzaju, $\mu\text{l} \cdot \text{h}^{-1}$,

$m(b, z)$ – masa ładunku b -tego rodzaju przemieszczanego w ramach realizacji z -tego zadania transportowego, kg.

2.3.4. Narażenie na uszkodzenia mechaniczne

Przemieszczanie ładunków szybko psujących się jest związane z narażeniem na uszkodzenia mechaniczne. Dla niektórych grup produktów szybko psujących się, np. świeżych owoców, uszkodzenia mechaniczne towarzyszące przemieszczaniu są jedną z głównych przyczyn skracania dopuszczalnego czasu transportu [20]. Najczęściej występującymi uszkodzeniami w wyniku oddziaływania mechanicznego są nakłucia, otarcia oraz obicia. Jedną z przyczyn uszkodzeń ładunków są drgania i wibracje, powstałe na skutek nierówności drogi, czy też pochodzące od układu napędowego pojazdu. Często przyczyną uszkodzeń ładunków są również ich przemieszczenia w wyniku zmian kierunku jazdy [27].

Wielkość narażenia mechanicznego, które towarzyszy transportowanym ładunkom zależy przede wszystkim od rodzaju środka transportu. Wpływ na poziom narażenia ma

konstrukcja układu zawieszenia, prędkość jazdy oraz rodzaj i stan drogi, po której środki transportowe się przemieszczają. W przypadku przeładunków narażenie zależy przede wszystkim od stopnia zmechanizowania prac oraz sposobu obchodzenia się z ładunkiem [3]. Narażenia mechaniczne towarzyszące ładunkom podczas transportu można podzielić na dwie zasadnicze grupy: narażenia statyczne oraz narażenia dynamiczne. Głównym źródłem powstawania narażenia statycznego jest piętrzenie ładunków, a także oddziaływanie pomiędzy ładunkiem a jego opakowaniem. Udarowe narażenia dynamiczne powstają przede wszystkim na skutek gwałtownych zmian kierunku jazdy, prędkości, przy uderzeniach oraz przeładunkach. Szybkozmiennne narażenia są spowodowane takimi czynnikami jak: wibracje pochodzące od silnika pojazdu i urządzeń zainstalowanych na pojeździe (np. układów chłodzących, układów kontrolujących skład atmosfery itp.), a także od nierówności drogi, czy też linii kolejowej.

W celu uniknięcia uszkodzenia ładunków szybko psujących się w wyniku uszkodzeń mechanicznych, powstałych podczas transportu oraz przeładunków nie wolno dopuścić do sytuacji, w której oddziaływania statyczne, czy też dynamiczne będą wyższe od wartości dopuszczalnych dla danego rodzaju ładunku. W związku z tym zidentyfikowano kolejne dwa cząstkowe współczynniki podatności ze względu na:

- odporność ładunku na uszkodzenia mechaniczne spowodowane oddziaływaniami statycznymi – w_{10} ,
- odporność ładunku na uszkodzenia mechaniczne spowodowane oddziaływaniami dynamicznymi – w_{11} .

Spśród wymienionych współczynników w artykule scharakteryzowano cząstkowy współczynnik w_{10} . W celu jego wyznaczenia, zdefiniowano największy nacisk na ładunek, którego działania można się spodziewać podczas wykonywania e -tej czynności wg technologii d -tego rodzaju przy zaangażowaniu środka pracy u -tego rodzaju, w wyniku oddziaływania statycznego $f_{umax}(d, e, u) \equiv f_{umax}$. Wielkość ta została wyrażona wzorem:

$$f_{umax} = rc(e) \cdot f_{u1max}(ut_e(d)) + (1 - rc(e)) \cdot f_{u2max}(ut_e(d)) \quad (\text{N} \cdot \text{m}^{-2}) \quad (7)$$

gdzie:

$rc(e)$ – parametr odwzorowujący rodzaj czynności, przy czym $rc(e) = 1$, gdy e -ta czynność jest czynnością przewozową oraz $rc(e) = 0$, gdy e -ta czynność jest czynnością ładunkową,

$ut_e(d)$ – numer rodzaju środka pracy, który można zastosować do wykonania e -tej czynności wyróżnionej w ciągu technologicznym procesu transportowego realizowanego wg technologii d -tego rodzaju,

$f_{u1max}(u)$ – największy nacisk na ładunek w wyniku oddziaływania statycznego, który może wystąpić podczas wykonywania e -tej czynności wg technologii d -tego rodzaju przy zaangażowaniu środka przewozowego u -tego rodzaju, $\text{N} \cdot \text{m}^{-2}$,

$f_{u2max}(u)$ – największy nacisk na ładunek w wyniku oddziaływania statycznego, który może wystąpić podczas wykonywania e -tej czynności wg technologii d -tego rodzaju przy zaangażowaniu urządzenia ładunkowego u -tego rodzaju, $\text{N} \cdot \text{m}^{-2}$.

W takim ujęciu dopuszczalne oddziaływanie statyczne dla ładunków $f_{dop}(pt_e(d), b) \equiv f_{dop}$ wyznaczone jest wg wzoru:

$$f_{dop} = \max \left\{ f_{pmax}(pt_e(d)); \min_{b \in B(z)} \{f_{max}(b)\} \right\} (N \cdot m^{-2}) \quad (8)$$

gdzie:

$f_{max}(b)$ – dopuszczalny nacisk na jednostkę powierzchni powstały w wyniku oddziaływania statycznego na ładunek b -tego rodzaju przewożony luzem, $N \cdot m^{-2}$,

$f_{pmax}(p)$ – dopuszczalne oddziaływanie statyczne na jednostkę powierzchni na ładunek w postaci transportowej p -tego rodzaju, $N \cdot m^{-2}$.

Uwzględniając powyższe wartość cząstkowego współczynnika podatności transportowej w_{10} wyznaczana jest wg wzoru:

$$w_{10} = \begin{cases} 0 & \text{gdy } f_{umax} > f_{dop} \\ 1 - e^{(f_{umax} - f_{dop})} & \text{gdy } f_{umax} \leq f_{dop} \end{cases} \quad (9)$$

gdzie:

$w_{10} \equiv w(10, z, d, e, u)$ – cząstkowy współczynnik podatności transportowej ze względu na odporność ładunku na uszkodzenia mechaniczne spowodowane oddziaływaniami statycznymi, dla realizacji z -tego zadania transportowego oraz e -tej czynności procesu technologicznego wykonywanej wg technologii d -tego rodzaju, przy wykorzystaniu środka pracy u -tego rodzaju.

2.3.4. Pozostałe cząstkowe współczynniki podatności transportowej

Poza współczynnikami podatności transportowej opisanymi w poprzednich podrozdziałach, w badaniach nad podatnością ładunków szybko psujących się zidentyfikowano także cząstkowy współczynnik podatności transportowej ze względu na dopuszczalny czas transportu – w_{12} oraz grupę współczynników, związanych z kryterium wymiarów oraz masy ładunków. Z punktu widzenia podatności transportowej istotne jest, aby wymiary zewnętrzne ładunku nie przekroczyły maksymalnych wymiarów przestrzeni ładunkowej środków przewożowych, czy też maksymalnych wymiarów jednostek ładunku, na których mogą być realizowane prace ładunkowe przy wykorzystaniu urządzeń ładunkowych.

Podatność transportowa w dużym stopniu zależy też od doboru opakowania transportowego. Rodzaj oraz wymiary opakowań różnią się w zależności od zapotrzebowania i wymagań odbiorców. Jednak ze względów praktycznych zwykle stosuje się opakowania o wymiarach standardowych. Wymiary zewnętrzne ładunków istotne są również ze względu na możliwość wykorzystania przestrzeni ładunkowej. Najkorzystniejszym rozwiązaniem jest, aby wymiary przestrzeni ładunkowej stanowiły w przybliżeniu wielokrotności wymiarów ładunków. Na podatność transportową wpływa również masa ładunku. Przede wszystkim masa jednej sztuki ładunku lub jednego opakowania jednostkowego wraz z ładunkiem nie może przekraczać dopuszczalnej masy ładunku w ramach jednostki transportowej, czy też udźwigu urządzeń ładunkowych. Masa ładunku istotna jest również ze względu na stopień wykorzystania ładowności pojazdów.

Uwzględniając te uwarunkowania dodatkowo zidentyfikowano cząstkowe współczynniki podatności transportowej ze względu na:

- maksymalny wymiar ładunku – w_{13} ,
- wymiary uprzywilejowane ładunku – w_{14} ,
- wykorzystanie ładowności (masowy) – w_{15} ,
- masę sztuki ładunku lub opakowania jednostkowego wraz z ładunkiem – w_{16} ,
- objętość sztuki ładunku lub opakowania jednostkowego wraz z ładunkiem – w_{17} ,

Kolejnym kryterium, które determinuje podatność transportową ładunków jest wartość ładunku. Wpływa ona bowiem na ekonomiczną podatność transportową ładunku. Wraz ze wzrostem wartości przewożonego ładunku, podatność transportowa obniża się, ze względu na wyższe koszty, związane z potencjalnym ryzykiem utraty ładunku [17], jednocześnie większe są możliwości pokrycia kosztów transportu. Stąd zidentyfikowano również cząstkowy współczynnik podatności transportowej ze względu na wartość ładunku – w_{18} .

2.4. WEKTOR PODATNOŚCI TRANSPORTOWEJ

Uwzględniając przedstawione powyżej współczynniki podatności transportowej zdefiniowano wektor podatności transportowej, którego elementami są cząstkowe współczynniki podatności transportowej ze względu na poszczególne kryteria. Postać ogólną wektora podatności transportowej z-tego zadania transportowego do realizacji wg technologii transportu d -tego rodzaju przedstawiono jako:

$$\mathbf{W}(z, d) = [w(1, z, d), w(2, z, d), \dots, w(k, z, d), \dots, w(K, z, d)] \quad (10)$$

gdzie:

$w(k, z, d)$ – współczynnik podatności transportowej, ze względu na k -te kryterium, z -tego zadania transportowego do realizacji wg technologii transportu d -tego rodzaju,
 K – liczba kryteriów bezpieczeństwa ładunku.

Współczynnik podatności transportowej, ze względu na k -te kryterium, z -tego zadania transportowego do realizacji wg technologii transportu d -tego rodzaju, bez rozbicia na poszczególne czynności, z wyjątkiem cząstkowego współczynnika podatności transportowej wyróżnionego ze względu na kryterium dopuszczalnego czasu transportu, stanowi najniższą wartość spośród cząstkowych współczynników wyznaczonych dla poszczególnych czynności, tj.:

$$w(k, z, d) = \min_{e \in I(d)} \{w(k, z, d, e)\} \quad (11)$$

gdzie:

$w(k, z, d, e)$ – cząstkowy współczynnik podatności transportowej, ze względu na k -te kryterium zidentyfikowany dla realizacji na z -tym zadaniu transportowym e -tej czynności procesu technologicznego wykonywanej wg technologii d -tego rodzaju,
 $I(d)$ – uporządkowany zbiór czynności wyróżnionych w ciągu technologicznym procesu transportowego dla technologii d -tego rodzaju.

Cząstkowy współczynnik podatności transportowej wyróżniony ze względu na k -te kryterium dla realizacji na z -tym zadaniu transportowym e -tej czynności procesu technologicznego wykonywanej wg technologii d -tego rodzaju wyznacza się jako:

$$w(k, z, d, e) = w(k, z, d, e, u^*) \quad (12)$$

przy czym:

$$u^*: u^* \in U(z) \cap UT_e(d) \wedge \bigwedge_{k \in K} w(k, z, d, e, u^*) > 0 \wedge \max_{u \in U(z) \cap UT_e(d)} \sum_{k \in K} w(k, z, d, e, u) = \sum_{k \in K} w(k, z, d, e, u^*) \quad (13)$$

gdzie:

K – zbiór numerów kryteriów,

$U(z)$ – zbiór akceptowanych rodzajów środków pracy, które mogą być wykorzystane do realizacji z -tego zadania transportowego,

$UT_e(d)$ – zbiór numerów rodzajów środków pracy, które można zastosować do wykonania e -tej czynności wyróżnionej w ciągu technologicznym procesu transportowego realizowanym wg technologii d -tego rodzaju.

Uwzględniając powyższe dla każdego zadania transportowego i dla każdej wstępnie zdefiniowanej technologii transportu wyznacza się wektor podatności transportowej. W przypadku, gdy któryś z elementów wektora przyjmuje wartość równą 0, taka technologia nie może być wykorzystana do realizacji zadania, w związku z niespełnieniem warunku bezpieczeństwa ze względu na określone kryterium. Spośród pozostałych rozwiązań technologicznych, wybierane jest wówczas rozwiązanie, ze względu na kryterium maksymalizacji bezpieczeństwa (maksymalizacja sumy ważonej poszczególnych elementów wektora podatności) oraz kryterium minimalizacji kosztów transportu.

3. PODSUMOWANIE

W ramach prac, ze względu na szereg kryteriów związanych z cechami i właściwościami ładunków, zidentyfikowanych zostało osiemnaście cząstkowych współczynników podatności transportowej. Uzyskane cząstkowe współczynniki podatności transportowej stanowią elementy składowe wektora podatności transportowej ładunków szybko psujących się. Wyznaczając wartości tych współczynników możliwe jest określenie wartości liczbowej podatności transportowej poszczególnych ładunków szybko psujących się dla wybranych technologii transportu. Następnie możliwe jest porównanie poszczególnych technologii transportu ze względu na podatność. Poszczególne współczynniki podatności transportowej wyznaczane są, przy uwzględnieniu charakterystyk ładunków i technologii transportowych, w tym: postaci transportowych ładunków i angażowanych środków pracy.

Opracowane współczynniki podatności transportowej mogą stanowić podstawę do uzyskania kompleksowego narzędzia doboru multimodalnych technologii transportu do

realizacji zadań transportowych związanych z przemieszczaniem ładunków szybko psujących się, przy szczególnym uwzględnieniu ich podatności transportowej. W celu realizacji efektywnego doboru technologii transportu dla określonych grup ładunków niezbędne jest uwzględnienie ich cech i właściwości, które determinują podatność transportową. W kolejnym etapie badań z wykorzystaniem metody modelowania matematycznego opracowany zostanie model doboru multimodalnych technologii transportu. W modelu tym uwzględnione zostaną dwa kryteria główne tj.: bezpieczeństwo ładunku, związane z przedstawionymi współczynnikami podatności transportowej oraz kryterium minimalizacji kosztów. Każde z kryteriów cząstkowych związane będzie z wartością cząstkowego współczynnika podatności transportowej, którego wartość jest wyznaczana na podstawie przedstawionych w artykule oryginalnych zależności analitycznych.

Dobór technologii transportu, uwzględniający opisane współczynniki podatności transportowej, a także kryterium minimalizacji kosztów transportu, powinien przyczynić się do zmniejszenia niebezpieczeństwa nadmiernego obniżenia jakości lub utraty przewożonego ładunku. Może również przyczynić się do zmniejszenia odsetka zepsutych ładunków podczas transportu, a w konsekwencji do zwiększenia efektywności przewozów, bezpieczeństwa przewożonych dóbr, a także bezpieczeństwa zdrowotnego potencjalnych konsumentów.

Bibliografia

1. Ahmadi E., Soleimani B.: Measurement and analysis of truck vibration levels as a function of packages locations in truck bed and suspension. *Computers & Electronics in Agriculture*, 109, 2014, s. 141-147.
2. Bieńczyk K.: Zapewnienie bezpieczeństwa konsumentowi żywności w ogniwie transportowym łańcucha chłodniczego. *Eksploatacja i Niezawodność*, 1, 2011, s. 16-26.
3. Boużyż G, (red.): Projektowanie opakowań transportowych. Wydawnictwo Kultura Życia Codziennego, Warszawa 1969.
4. Cąderek T.: Opakowania dla nowoczesnego rynku ogrodniczego. *Przem. Ferm. Owoc. Warz.* 11, s. 7-8, 2013.
5. Cevoli, C., Fabbri, A.: Heat transfer finite element model of fresh fruit salad insulating packages in non-refrigerated conditions. *Biosystems Engineering*, 153, 2017, s. 89-98.
6. Chatzidakis S.K., Chatzidakis K.S.: A heat transfer simulation study of a multi-compartment isothermal liquid foodstuff tank tested according to the international ATP Agreement. *Energy Conversion and Management*, 46, Iss. 2, 2005, s. 197-221.
7. Colin T., Zhiguo L.: Quantitative evaluation of mechanical damage to fresh fruits. *Trends in Food Science and Technology*, 35, 2014, s. 138-150.
8. Eissa A.H.A., Nabil S.N., Albaloushi N., Azam M.M.: Vibration analysis influence during crisis transport of the quality of fresh fruit on food security. *Agric. Eng. Int. CIGR J.*, 15, 2013, s. 181-190.
9. Filina-Dawidowicz L., Wienconek K.: Wybrane zagadnienia związane z przewozami ładunków szybko psujących się na terenie Unii Europejskiej. *Logistyka*, 4, 2013, s. 57-60.
10. Frączek J., Cieślowski B., Francik S., Pedryc N., Ślipek Z.: Podatność transportowa biopaliw stałych. *Logistyka*, 4, 2015, s. 3240-3247.
11. Gaziński B. (red): Technika chłodnicza dla praktyków – przechowywalność żywności, Systherm Technik, Poznań 2013.
12. Górecka-Orzechowska J., Raczek A.: Transport świeżych owoców i warzyw w kontrolowanej atmosferze. *Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe*, 5, 2012, s. 192-198.
13. Hoang, H.M., Brown, T., Indergard, E., Leducq, D., Alvarez, G.: Life cycle assessment of salmon cold chains: Comparison between chilling and superchilling technologies *Journal of Cleaner Production*, 126, 2016, s 363-372.
14. Horubała A.: Przechowywalność żywności. PWN, Warszawa 1975.

15. Idaszewska N., Bieńczak K.: Koncepcja transportu sałaty na duże odległości w stanie świeżym. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, 58, 2013, s. 52-54.
16. Jacyna M., Semenov I.N., Trojanowski P.: The research directions of increase effectiveness of the functioning of the RSA with regard to specialized transport. *Archives of Transport*, 35, Iss. 3, 2015, s. 27-39
17. Jakubowski L.: *Technologia prac ładunkowych*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2009.
18. James S.J., James C., Evans J.A.: Modelling of food transportation system – a review. *Int. J. Refrig.*, 29, 2006, 947-957.
19. Kaipia R., Dukovska-Popovska I., Loikkanen L.: Creating sustainable fresh food supply chains through waste reduction. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 43, Iss: 3, 2013, s. 262-276.
20. Komarnicki P., Stopa R., Młotek M.: Próba określenia nacisków powierzchniowych jabłek w skrzynce jedynie w aspekcie jej przydatności do transportu i przechowywania. *Inżynieria Rolnicza*, 145, 2013, s. 145-157.
21. Korzeniowski A. (red): *Magazynowanie towarów niebezpiecznych, przemysłowych i spożywczych*. Biblioteka Logistyka, Poznań 2006.
22. Kozłowicz K., Góral D., Kluza F., Domin M., Zawiślak K., Guz T.: Uwarunkowania intermodalnych rozwiązań transportu chłodniczego żywności. *Logistyka*, 5, 2015, s. 221-226.
23. Kozłowicz K., Wolak S., Kluza F.: Transport żywności i jej jakość na tle uwarunkowań technologicznych i logistycznych. *Chłodnictwo*, 5, 2003, s. 38-43.
24. Madeyski M., Lissowska E.: *Badania analityczne transportu samochodowego*. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 1981.
25. Markowska J., Polak E.: Przerwanie łańcucha chłodniczego a jakość żywności. *Przemysł Spożywczy*, 9, 2016, s. 21-26.
26. de Mesquita M.O., de Freitas Saccol A.L., Mesquita M.O., Fries L.L.M., Cesar Tondo E.: Important Regulatory Aspects in the Receipt of Animal Products by Food Services. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56, Iss. 16, 2016, s. 2607-2616.
27. Mokrzyśzczak H.: *Ładunkoznawstwo*. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 1985.
28. Neider J.: *Transport międzynarodowy*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2012.
29. Odlanicka-Poczobutt M., Kulińska E.: Determinanty procesów planowania transportu wyrobów piwarskich – studium przypadku. *Logistyka*, 6, 2015, s. 808-817.
30. Parfitt J, Barthel M, Macnaughton S.: Food waste within food supply chains: quantification and potential for change to 2050. *Phil. Trans. R. Soc.*, 365, 2010, s. 3065–3081.
31. Piekarska J., Kondratowicz J.: Wykorzystanie technologii chłodniczej w transporcie żywności. *Chłodnictwo*, 4, 2011, s. 44-47.
32. Rozporządzenie (WE) nr 852/2004 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 29 kwietnia 2004 r. w sprawie higieny środków spożywczych.
33. Rybińska K., Galińska B.: Bezpieczeństwo żywności w łańcuchu dostaw. *Logistyka*, 3, 2014, s. 5510-5517.
34. Sandhya: Modified atmosphere packaging of fresh produce: Current status and future needs. *LWT – Food Science and Technology*, 43, 2010, s. 381-392.
35. Sitko A.(red): *Prace ładunkowe w kolejnictwie*. WKŁ, Warszawa 1990.
36. Soto-Silva W.E., González-Araya M.C., Oliva-Fernández M.A., Plà-Aragónés L.M.: Optimizing fresh food logistics for processing: Application for a large Chilean apple supply chain. *Computers and Electronics in Agriculture*, 136, 2017, s. 42-57.
37. Stachowiak A., Zwierzycki W., Bieńczak K., Rochatka T., Tyczewski P.: Doskonalenie jakości drogowych środków oraz procesu chłodniczego żywności. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 52, 2007, s. 205-218.
38. Sutkowski R.: Transport zewnętrzny w przemyśle spożywczym. *Przemysł Spożywczy*, 7, 2012, s. 38-40.
39. Tijskens LLM., Polderdijk JJ.: A generic model for keeping quality of vegetable produce during storage and distribution. *Agricultural Systems*, 51, Iss. 4, 1996, s. 431-452.
40. Tsironi, T., Dermesonlouoglou, E., Giannoglou, M., Gogou, E., Katsaros, G., Taoukis, P.: Shelf-life prediction models for ready-to-eat fresh cut salads: Testing in real cold chain. *International Journal of Food Microbiology*, 240, 2017, s. 131-140.

41. Umowa o międzynarodowych przewozach szybko psujących się artykułów żywnościowych i o specjalnych środkach transportu przeznaczonych do tych przewozów (ATP), przyjęta w Genewie dnia 1 września 1970 r. (Dz.U. 2015, poz. 667)
42. van der Vorst JGAJ, Tromp SO, van der Zee DJ.: Simulation modelling for food supply chain redesign; integrated decision making on product quality, sustainability and logistics. *International Journal of Production Research*, 47, Iss. 23, 2009, s. 6611-6631.
43. Yang X., Song J., Campbell-Palmer L., Fillmore S., Zhang Z.: Effect of ethylene and 1-MCP on expression of genes involved in ethylene biosynthesis and perception during ripening of apple fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 78, 2013, s. 55-66.

PERISHABLE CARGO TRANSPORTABILITY FACTORS

Summary: A determination of perishable cargo transportability, based on calculating several dozen partial transportability factor values, is presented in this article. The transportability factors were identified based on a number of criteria determined to be particularly significant while designing perishable product transport technology. A method of calculating the selected factors was analyzed and presented. The complex analysis of transport vulnerability, while taking into account transportability factors, allows for the selection of the most favorable cargo transport technology, as well as the methods of securing the cargo in order to prevent damage during transport. Transportability factors described in this article constitute one of the most significant determinants in perishable cargo transport technology selection. At the same time, design methods are also an important element in developing technological solutions in transport.

Keywords: Vulnerability of transport, perishable cargo, transportability factors