

Zrównoważony łańcuch dostaw drewna na przykładzie wybranego zakładu

Waldemar Sieniawski, Bolesław Porter

Abstrakt. Artykuł przedstawia analizę i ocenę łańcucha dostaw surowca drzewnego jako kluczowego etapu w pozyskiwaniu drewna w ujęciu trwałej zrównoważonej gospodarki leśnej. Przedmiotem badań jest łańcuch dostaw surowca do jednego z najnowocześniejszych tartaków na terenie Polski. Analizą objęto takie czynniki jak odległość dostawy surowca, ograniczenia czasowe załadunku i rozładunku, mnogość punktów zaopatrzenia. Badania podzielono na kilka etapów. Etap pierwszy polegał na identyfikacji podmiotów biorących udział w łańcuchu dostaw oraz na określeniu najistotniejszych czynników/parametrów dla sprawności działania układu. W etapie drugim stworzony został dynamiczny model odzwierciedlający działanie wybranego systemu transportowego. Trzeci etap to szereg symulacji komputerowych z wykorzystaniem stworzonego modelu oraz określenie wpływu każdego z elementów na sprawność systemu. Etap końcowy to wskazanie optymalnego rozwiązania i potencjalnych kierunków optymalizacji zarządzania łańcuchem dostaw dla uzyskania systemu o zrównoważonym charakterze.

Słowa kluczowe: zrównoważony łańcuch dostaw, transport drewna, logistyka transportu leśnego

Abstract: Sustainable Wood Supply Chain based on the example of a chosen sawmill. The article presents timber haulage logistics from the place where is harvested to customer – one of the most modern sawmill in Poland. The research include following factors: distance of transportation, time windows for pick-up and delivery, multiplicity of timber locations. Based on the results of research on each of presented factors, an assessment of its impact on the system efficiency and evaluation of whole system effectiveness has been conducted. Presented approach is based on decomposition of global problems to a number of stages. The first stage consisted in the identification and location of suppliers of wood raw material. The second step is to create a mathematical dynamic model of the transport system in the Witness environment that contains all the analyzed elements. The third stage is a computer simulation of the delivery process to determine the impact and importance of individual elements on the efficiency of the transport system. The final stage is to determine the optimal solution, or solution close to optimal.

Keywords: Sustainable Wood Supply Chain, Logistic in Forestry, Wood Supply Chain

Wprowadzenie

Wydajna i efektywna dystrybucja towarów i usług jest niezmiernie ważnym zagadnieniem. Niejednokrotnie możliwość właściwej dystrybucji dóbr decyduje o istnieniu danego podmiotu gospodarczego na rynku. Obecnie gospodarka wolnorynkowa stawia coraz to wyższe wymagania przed dostawcami towarów. Informacje o rozmiarze zapotrzebowania i terminie dostawy bardzo często przekazywane są w sposób dynamiczny, w zamian oczekuje się takiej samej dynamicznej reakcji w postaci dopasowania tras i liczby pojazdów, czy wyboru centrów logistycznych do obsługi danego zadania transportowego. Istotnym czynnikiem jest również zmiana polityki zaopatrzenia w wielu przedsiębiorstwach, gdzie obserwuje się globalizację źródeł zaopatrzenia. Zmusza to poszczególne przedsiębiorstwa do poszukiwań bardziej efektywnych sposobów przepływu towarów zarówno w kierunku do przedsiębiorstwa jak i od przedsiębiorstwa. Stąd też w ostatnich latach bardzo dynamicznie rozwinęło się zagadnienie zarządzania łańcuchem dostaw. Termin ten po raz pierwszy pojawił się przed kilkunastoma latami jako łańcuch dostaw (Cooper i in. 1997). Następnie w ciągu kilku kolejnych lat, zagadnienie to stało się bardzo ważnym i powszechnie analizowanym problemem. Początkowo używano go do określenia zakresu procesów i obowiązków w korporacji. Obecnie znaczenie łańcucha dostaw koncentruje się na wymiarze czasu i jakości, jest to w głównej mierze bezpośrednim wymogiem rynku, na którym klienci oczekują szybszych i niezawodnych dostaw wolnego od wad towaru. Łańcuch dostaw interpretowany jest przede wszystkim jako zbiór organizacji/podmiotów, w liczbie trzech lub więcej, które w sposób bezpośredni zaangażowane są w przepływ produktów, usług, finansów i/lub informacji od dostawcy do odbiorcy (Mentzer i in. 2001). A zatem łańcuch dostaw występuje w każdym procesie produkcji bez względu na to czy jest on poddany kontroli (zarządzany) czy też nie. Poprzez zarządzanie łańcuchem dostaw należy rozumieć planowanie i zarządzanie wszystkimi działaniami z zakresu zaopatrzenia, zamówień, przerobu i operacji logistycznych (Council of Supply Chain Management Professionals – CSCMP).

Również w leśnictwie, pomimo wielofunkcyjności gospodarki leśnej, zapisanej w Ustawie o lasach, bardzo dużą rolę odgrywa rachunek ekonomiczny. Znaczenie operacji transportowych w tej branży zostało opisane na początku XX wieku przez Schencka (1911). Transport drewna jest jedną z najbardziej kosztownych a zarazem najbardziej skomplikowanych operacji w cyklu produkcji surowca drzewnego (Greulich 2003). Do rozwiązania problemów decyzyjnych w transporcie leśnym używa się modeli optymalizacyjnych już od ponad 40 lat. W tradycyjnym ujęciu planowanie operacji transportowych sprowadzało się do zaprojektowania i wykonania takiej sieci komunikacyjnej dróg leśnych, która pozwoliłaby na zminimalizowanie kosztów transportu surowca drzewnego przy czym jej wykonanie i utrzymanie pozostałoby na relatywnie niskim poziomie. W nowym podejściu przy planowaniu dostaw drewna należy również mieć na uwadze znaczenie sieci dróg leśnych dla rozwoju rekreacji w lasach, ochrony lasu przed oddziaływaniem czynników przyrody ożywionej i nieożywionej, itp. Te dodatkowe uwarunkowania powodują, że współczesne problemy transportowe są znacznie trudniejsze do rozwiązania. Bardzo często zdarza się, że sformułowany problem transportowy z więcej niż jedną funkcją celu wymaga odrębnego rozwiązania dla każdego kryterium a następnie znalezienia rozwiązania kompromisowego (Chung i Contreras 2011). Przy rozwiązywaniu tego typu zadań transportowych w badaniach często stosuje się metody heurystyczne, które pomimo iż mogą nie prowadzić do znalezienia rozwiązania optymalnego, posiadają wysoką wydajność i zdolność rozwiązywania problemów złożonych z wieloma funkcjami celu (Martel i in. 1998, Sessions i in. 2003,

Olsson i Lohmander 2005, Contreras i in. 2008). Modelowanie i symulacja komputerowa łańcucha dostaw drewna wydaje się zdecydowanie najlepszą metodą do jego oceny i optymalizacji. Oczywiście można dokonać waloryzacji łańcucha dostaw stosując metodę oceny jakościowej jak na przykład benchmarki. Metoda ta daje co prawda obraz obecnych trendów ale z całą pewnością nie można na tej podstawie odczytać perspektyw. Natomiast symulacja pozwala zarówno na szczegółową analizę procesu, jak i ocenę skutków jego modernizacji. Należy jednocześnie zaznaczyć, że za największą wadę symulacji komputerowych uważa się dużą czasochłonność i ograniczone możliwości ponownego wykorzystania ze względu na bardzo dużą specyfikę (Swaminathan i in. 1993).

Przepływ drewna i łańcuch dostaw

Przepływ surowca drzewnego zaczyna się od miejsca jego pozyskania, na powierzchni leśnej. Jego źródłem jest zwykle kilka do kilkunastu gatunków, z których w zależności od wymiarów i jakości, wyrabiane są różne sortymenty. W zależności od systemu, w jakim pozyskiwane jest drewno, okrzesywanie, przerzynka i wyrobienie gotowych sortymentów mogą odbywać się na miejscu lub po przetransportowaniu na plac manipulacyjny, składnicę czy u odbiorcy końcowego.

Powszechnie stosowane systemy pozyskiwania drewna:

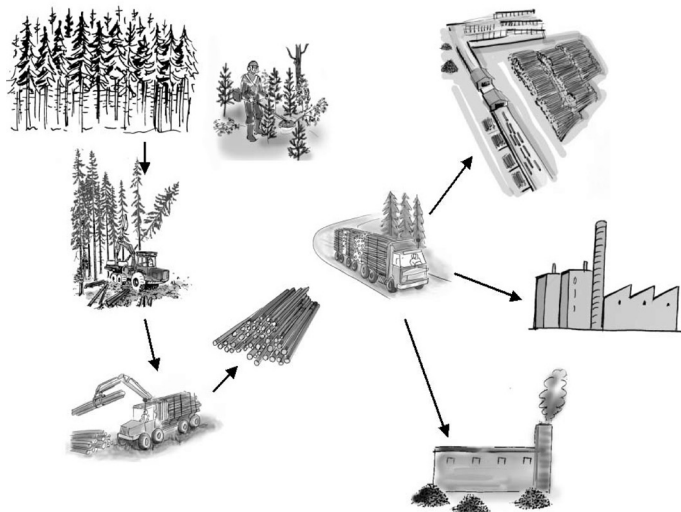
- system drewna krótkiego (cut to length – CTL),
- system drewna długiego (length wood system – LWS),
- system całego drzewa (full tree system – FTS),
- system drewna sypkiego (friable wood system – FWS) (Laurow 1999, Rönnqvist 2003).

Zarówno w polskim leśnictwie jak i leśnictwie europejskim najszersze stosuje się system drewna krótkiego, gdzie gotowy produkt rynkowy – sortyment powstaje przy pniu, w miejscu jego pozyskania. System ten uważa się za optymalny w warunkach polskiego leśnictwa, głównie z uwagi na aspekty ochrony środowiska oraz zaplecze technologiczne. Za optymalny układ w tym systemie pracy uważa się zespół harvester plus forwarder. Najistotniejszą wadą tego systemu jest trudność w optymalnym wykorzystaniu pozyskanego drewna. Pod względem optymalizacji manipulacji surowca znacznie lepsze wyniki uzyskuje się w systemie LWS, gdzie ścięte, okrzese drzewo z odcięтым wierzchołkiem transportuje się na składnicę spedycyjno-manipulacyjną lub zrębową a następnie dokonuje się wyróbki sortymentów po wcześniejszej analizie przeprowadzonej przez wykwalifikowanych specjalistów. System ten umożliwi znacznie dokładniejszą analizę i precyzję w wytwarzaniu poszczególnych sortymentów aniżeli CTL, w którym manipulacja bardzo często ogranicza się jedynie do przerzynki dłużycy w określonych miejscach (Balloun 1999, Muchowski 1999). System całego drzewa znajduje zastosowanie w Ameryce Północnej i krajach mniej rozwiniętych. W tym systemie pozyskania całe drzewo transportowane jest na składnicę, gdzie następują dalsze czynności manipulacyjne. Za zaletę może zostać uznana wysoka wydajność pracy, niski koszt i brak konieczności przeprowadzania dodatkowych zabiegów w celu przygotowania powierzchni zrębowej do odnowienia (Favreau 1999).

Proces pozyskiwania drewna odbywa się w ciągu całego roku ale jego intensywność nie jest stała. Można zauważyć pewną tendencję wskazującą na większe pozyskanie surowca w okresie jesienno-zimowym (listopad-marzec) ale uzależnione jest to od znacznie większej liczby czynników aniżeli pora roku. Istotną rolę odgrywa tu również rozłożenie popytu na surowiec drzewny jak również wyposażenie firm pozyskujących drewno w środki

technologiczne umożliwiające pozyskiwanie również w okresie wiosennym (Błuszkowska, Nurek 2010).

Proces transportu surowca drzewnego odbywa się najczęściej jednoetapowo, poszczególne sortymenty transportowane są do odbiorcy końcowego. Z wyjątkiem zrębków, przeznaczonych na cele energetyczne, transport odbywa się z wykorzystaniem wysokotonazowych pojazdów samochodowych dostosowanych do wywozu drewna. Część surowca drzewnego dostarczana jest do odbiorców z wykorzystaniem infrastruktury kolejowej, wówczas wywóz podzielony jest na co najmniej dwa etapy: pierwszy – z miejsca składowania do miejsca przeładunku odbywa się przy użyciu transportu kołowego, drugi – drewno ładowane jest na wagony i w ten sposób transportowane do odbiorcy. Sposób ten nie znalazł szerokiego zastosowania ponieważ wymaga on od odbiorcy posiadania dodatkowej infrastruktury technologicznej w postaci bocznic kolejowej bądź wprowadzenia dodatkowego etapu przewozu surowca, co wpływa na koszt operacji transportu. W przypadku wystąpienia wyżej wymienionej formy przewozu surowca drzewnego, w myśl ustawy o transporcie drogowym (Ustawa... 2001), w zależności od stopnia złożoności przyjmuje on postać transportu kombinowanego lub multimodalnego (Starkowski i in. 2007). Należy również zaznaczyć, że transport kolejowy ukierunkowany jest do przewozu znacznych mas drewna a zatem tylko nieliczni nabywcy drewna na rynku polskim są potencjalnymi użytkownikami tego sposobu transportu.



Ryc. 1. Schemat przykładowego łańcucha dostaw drewna w leśnictwie (źródło: Rönnqvist 2003)
Fig. 1. An illustration of the sample wood-flow (source: Rönnqvist 2003)

W łańcuchu dostaw drewna udział może brać wiele grup interesów, spośród których można zidentyfikować:

- organizacje posiadające lub zarządzające dużymi obszarami leśnymi,
- prywatnych właścicieli lasów zrzeszonych w różnego rodzaju organizacjach, które

jednocześnie posiadają jednostki przemysłu drzewnego w postaci tartaków lub innych zakładów przerobu drewna,

- prywatnych właścicieli lasów nie będących członkami stowarzyszeń,
- niezależne zakłady przerobu drewna, nie posiadające powierzchni leśnych.

Dodatkowo oprócz wymienionych elementów w łańcuchu dostaw drewna udział może brać szereg podmiotów pośredniczących, reprezentujących zarówno producentów jak i odbiorców surowca drzewnego. Mogą to być podmioty gospodarcze zajmujące się procesem pozyskania, zrywki czy transportu. Zarządzanie podmiotami wchodzącymi w skład łańcucha dostaw może mieć charakter scentralizowany lub zdecentralizowany. Podstawowym problemem zarządzania jednostkami wchodzącymi w skład łańcucha dostaw jest fakt, iż nawet w sytuacji, kiedy każdy z podmiotów stanowiących element łańcucha dostaw drewna, widzi i rozumie potrzebę współpracy i integracji podejmowanych działań bardzo często można zaobserwować działania zmierzające do optymalizacji indywidualnych, krótkoterminowych celów, które utrudniają bądź wręcz uniemożliwiają współpracę i integrację na skalę globalną. Fakt ten sprawia, że podejmowanie jakichkolwiek decyzji jest w dużym stopniu skomplikowane. Proces planowania musi uwzględniać poszczególne strategie działań jednostek biorących udział w procesie przepływu drewna. W warunkach polskiego leśnictwa najczęściej obserwuje się bezpośredni łańcuch dostaw drewna, w którego skład wchodzi: dostawca surowca przez PGL Lasy Państwowe (LP), firmy transportowe i odbiorcy (podmioty gospodarcze zajmujące się przerobem surowca drzewnego).

Cel i zakres badań oraz założenia metodyczne

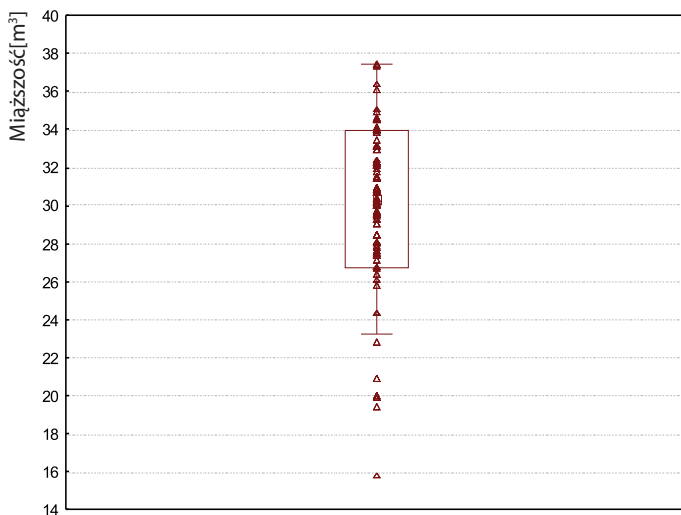
Celem niniejszych badań była analiza łańcucha dostaw drewna do wybranego zakładu oraz analiza możliwości optymalizacji tego procesu.

Obserwacji poddano dostawy surowca drzewnego do jednego z najbardziej nowoczesnych tartaków zlokalizowanego w północno-wschodniej Polsce. Podczas pięciodniowych obserwacji określono liczbę pojazdów, które dostarczały surowiec drzewny do zakładu. Następnie na podstawie dokumentów przewozowych zidentyfikowano miejsce pochodzenia surowca oraz określono realnie przebyte odległości z danej jednostki administracyjnej LP do tartaku. Na tej podstawie określono średnią odległość transportową. Analizą objęto również miąższość ładunku, jaki przewoziły poszczególne pojazdy. Pomierzono czas, jaki poszczególne pojazdy przebywały na terenie zakładu, od momentu przejazdu przez bramę zakładu do chwili opuszczenia zakładu. Obliczono średnią miąższość ładunku, średnią odległość dostawy drewna oraz średni czas przebywania samochodu w tartaku. Dane te zostały wykorzystane do skonstruowania modelu w środowisku Witness. Oprogramowanie to stworzone zostało przez firmę Lanner Ltd. Jego przeznaczeniem jest reprezentacja rzeczywistych procesów w postaci dynamicznych modeli komputerowych. Pozwala to na symulację i optymalizację tych procesów jak również, co wydaje się być niezmiernie istotnym aspektem, na zrozumienie zależności i reguł funkcjonowania analizowanych procesów. Zastosowanie takiego rozwiązania zapewnia kompleksowe wsparcie w procesie podejmowania decyzji poprzez identyfikację kluczowych wskaźników efektywności (*KPI – Key Performance Indicator*), raportowanie kosztów i zużycia energii oraz poprzez optymalizację procesu. Dla uproszczenia modelu przyjęto, że wszystkie pojazdy transportujące surowiec przewożą taką samą średnią miąższość ładunku. Przejazd rozpoczyna się z chwilą rozpoczęcia czynności

załadunkowych, a zatem punktem startowym jest lokalizacja surowca na terenie jednostki administracyjnej LP, zdefiniowana jako lokalizacja siedziby leśnictwa. Rozładunek pojazdu odbywa się na placu manipulacyjnym tartaku. Ponieważ prędkość jazdy pojazdów z ładunkiem i bez ładunku jest różna, dla potrzeb modelu przyjęto, że jest to średnia prędkość handlowa dla krajowego transportu drogowego, nie zmienia się w zależności od całkowitego dystansu pomiędzy miejscem załadunku a zakładem. Dla każdej trasy przejazdu pomiędzy dostawcą surowca i jego odbiorcą przypisane zostały pojazdy wywozowe. Model zakłada istnienie okien czasowych w postaci określonych godzin wydawania ładunków drewna, czasu dostępności kierowcy w ciągu dnia roboczego jak również godzin przyjmowania surowca drzewnego przez tartak. Powyższe elementy zidentyfikowane zostały jako niewrażliwe dla sprawności działania łańcucha dostaw drewna. Skonstruowany w ten sposób model posłużył do dalszej analizy. Kolejne iteracje miały za zadanie odpowiedzieć na pytanie w jakim stopniu zmiana okien czasowych, zidentyfikowanych jako „bottle necks” wpływa na pozostałe parametry łańcucha dostaw oraz w jakim stopniu zmiana odległości dostawy wpłynęłaby na zadanie transportowe.

Analiza wyników

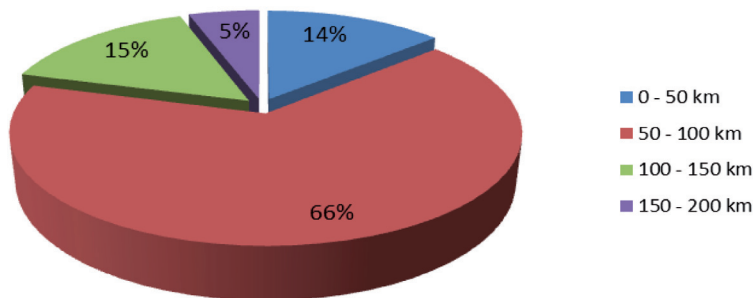
W trakcie obserwacji zidentyfikowany został bezpośredni łańcuch dostaw, który składa się z trzech elementów: dostawcy produktu (LP), przewoźnika/dystrybutora (wiele podmiotów w postaci firm transportowych) i klienta (tartak). Do analizowanego zakładu surowiec dostarczono z 52 jednostek administracyjnych (leśnictw). Dostarczany był surowiec wielkowieściowy w takich klasach jakości jak: WA, WB, WC, WD. Ładunek stanowiły dłuższe sosnowe, świerkowe oraz w mniejszej ilości modrzewiowe. Odległość transportowa wahała się od 7,4 km do 196,4 km, a jednorazowy ładunek zawierał się w przedziale od 15,9 do 37,5 m³. Średnia miąższość jednorazowego ładunku wyniosła 30,1 m³ (ryc. 2).



Ryc. 2. Wielkość jednorazowego ładunku (źródło: opracowanie własne)

Fig. 2. Size of single loads (source: own preparation)

Średnia odległość transportowa ważona masą wyniosła 65,3 km. Nie stwierdzono statystycznie istotnych zależności pomiędzy wielkością jednorazowego ładunku a odległością dostawy. Zdecydowaną większość ładunków dostarczono z odległości 50-100 km – 66%, tylko 5% dostarczono z odległości większej niż 150 km (ryc. 3)



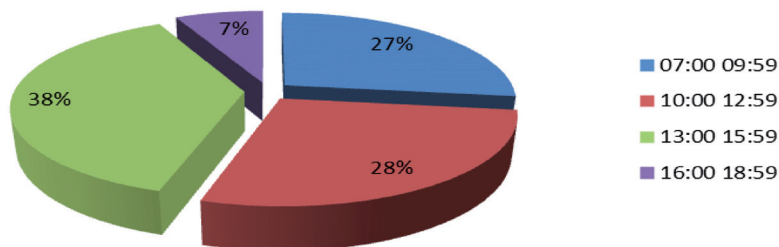
Ryc. 3. Miąższość dostarczonego drewna w zależności od odległości transportu (źródło: opracowanie własne)

Fig. 3. Capacity of supplied timber depending on the distance of transport (source: own preparation)

Pojazdy, które przybywały na miejsce dostawy oczekiwały w kolejce na wjazd na teren zakładu. Jednorazowo na teren zakładu mogły wjechać trzy pojazdy, każdy następny mógł wjechać na plac manewrowy dopiero wówczas, kiedy któryś z poprzednich zakończył czynności rozładunkowe i go opuścił. Średni czas przebywania jednego pojazdu na terenie zakładu wyniósł 0,797 h (47'49"). W przypadku bliskich odległości pojazdy wywozowe były w stanie zrealizować więcej niż jeden kurs podczas zmiany roboczej. W przypadku dłuższych odległości nie zawsze było to możliwe, przy czym należy zaznaczyć, że każdy z pojazdów wywozowych obsługiwany był przez jednego kierowcę, a w czasie, kiedy dany kierowca odbywał przerwę określoną regulaminem pracy, samochód również nie pracował. Dostawy surowca drzewnego realizowane były przez wiele małych, często jednoosobowych firm transportowych, co jest charakterystyczną cechą polskiego rynku transportu drewna. Tartak na terenie którego przeprowadzono badania przyjmuje dostawy drewna sześć dni w tygodniu (poniedziałek – sobota) przez dwanaście godzin dziennie od godziny 7:00 do godziny 19:00. Najwięcej samochodów transportujących surowiec zaobserwowano pomiędzy godziną 13 a 16 – 38% wszystkich pojazdów. Najmniejszą frekwencją charakteryzował się okres od 16 do 19 – przyjęto tylko 7% pojazdów (ryc. 4).

Uruchomienie pierwszej symulacji (wariant 1) pozwoliło na weryfikację poprawności działania modelu. W zaplanowanym czasie – 5 dni do modelu weszło 4145 elementów reprezentujących 4145 m³ drewna. Różnica w ilości drewna, które zostało przetransportowane rzeczywiście w czasie obserwacji i drewna, które wzięło udział w symulacji wynika z zapewnienia w każdej jednostce administracyjnej ładunku, którego wielkość stanowiłaby krotność ładowności pojazdu, jak również z zaprojektowania ładunku w postaci liczb całkowitych. Pojazdy wywozowe w omawianym modelu zdołały dostarczyć jedynie 2790 m³ a nie jak w rzeczywistości 4160 m³, wskazuje to na niedoskonałość użytego modelu lub niedokładne zaprojektowanie wszystkich jego elementów. Wstępna analiza wykazała, że

pomimo, iż firmy transportowe nie stosowały żadnych programów do kontroli floty pojazdów czy marszrutyzacji, to pewnie zwyczajnie i działania wypracowane na bazie wieloletniego doświadczenia i znajomości specyfiki rynku pozwalają na osiągnięcie wymiernych efektów. Elementem, którym mogli kierować się przewoźnicy, a który zakłócał sprawne funkcjonowanie modelu, okazał się czas pracy kierowcy, któremu prawo zezwala na dwięciogodzinną zmianę w ciągu doby, pod warunkiem, że jest ona podzielona na dwa okresy 4,5 godzinne a po nich następuje co najmniej jedenastogodzinny okres odpoczynku. Pozwalało to na rozpoczęcie zmiany przez samochody wywozowe o wcześniejszej godzinie, każdego następnego dnia symulacji co tylko doprowadzało do braku koordynacji z godzinami załadunku i rozładunku. W czasie trwania tej symulacji odbyło się pięć pełnych zmian roboczych zarówno w zakładzie przyjmującym drewno jak i w leśnictwach. Flota transportowa wykonała sześć pełnych zmian roboczych. Szczegółowe informacje na temat zajętości i czasu spędzonego w oczekiwaniu na wjazd na teren zakładu znajdują się w tabeli 1. Cały ładunek drewna został przetransportowany z 38 leśnictw, największy odsetek niezrealizowanych dostaw miał miejsce w leśnictwach o średniej odległości dostawy ok. 70 km w których znajdowała się największa ilość surowca do przetransportowania. W tym zestawieniu najbardziej niekorzystnie wypadło leśnictwo Werandy, ponieważ na 214 m³ drewna zaplanowanego do wywozu tylko 90 m³ dostarczono do tartaku.



Ryc. 4. Liczba pojazdów z surowcem drzewnym, jaka została odnotowana w czasie obserwacji z podziałem na okna czasowe (źródło: opracowanie własne)

Fig. 4. Number of recorded vehicles divided into time frames (Source: Own preparation)

Dla poprawy funkcjonowania modelu w kolejnej symulacji (wariant 2) założono, że kierowca pojazdu wywozowego pracuje wg wcześniej określonego schematu, ale każdego dnia zmianę roboczą może rozpocząć najwcześniej o godzinie 6:00. Ta modyfikacja pozwoliła na znacznie wierniejsze odwzorowanie sytuacji rzeczywistej. W tym wariantcie dostarczonej zostało 4140 m³ drewna, pomimo że pojazdy transportowe wykonały o jedną pełną zmianę roboczą mniej w stosunku do poprzedniego wariantu. Znaczącej poprawie uległa sytuacja samochodów wywozowych, dzięki temu, że zmiana robocza kierowców zaczynała się razem z wydawaniem surowca, pokrywała ona w większym stopniu okna czasowe na początku i końcu łańcucha dostaw. Pojazdy przejechały ponad 6 tys. km więcej niż w poprzednim przypadku (wariant 1), a przy tym procent czasu, w którym pojazdy oczekiwały w kolejce na wjazd do tartaku zmniejszył się do 41,28% czasu jaki pojazdy przebywały

w modelu. W kolejnej symulacji (wariant 3) sprawdzono jaki wpływ na sprawność działania łańcucha dostaw ma końcowe okno czasowe. Po wydłużeniu czasu działania zakładu z 12 do 14 godzin i przesunięciu godzin pracy z 07-19 na 09-23 okazało się, że sytuacja nie uległa poprawie a wręcz pogorszeniu. Wydłużył się ogólny czas oczekiwania pojazdów w kolejce a całe zadanie transportowe nie mogło być wykonane w zaplanowanym terminie. W kolejnej symulacji (wariant 4) próba wydłużenia czasu pracy w jednostkach administracyjnych LP z 10 do 12 godzin nie przyniosła poprawy sprawności działania modelu. Osiągnięte rezultaty były dokładnie takie same jak w wariancie 2 symulacji. Natomiast w przypadku, kiedy wydłużono czas pracy zarówno leśnictw, jak i tartaku z 12 do 14 godzin na dobę (wariant 5) rezultaty okazały się nieznacznie gorsze niż w przypadku wariantu 2. Wymierną poprawę uzyskano w kolejnej symulacji (wariant 6) poprzez ustawienie jednoczesnego rozpoczęcia wszystkich zmian roboczych (kierowców, leśnictw i odbiorcy). W tym wariancie zmniejszył się czas oczekiwania w kolejce do zakładu o ok. 3%. W takiej konfiguracji wykonanie zadania transportowego było możliwe w czasie krótszym o 11,6 godziny w stosunku do poprzednich wariantów.

W wariancie 7 symulacja miała za zadanie sprawdzenie w jaki sposób skrócenie odległości transportu wpłynie na sprawność łańcucha dostaw. Odległości transportowe zostały skrócone o 10%. Zmiana ta spowodowała, że zadanie transportowe zostało wykonane w czasie krótszym o 15 godzin w stosunku do symulacji w wariancie 2. Liczba kursów nie uległa zmianie, ale pokonany dystans był krótszy o 2677 km. Czas oczekiwania w kolejce na wjazd do zakładu zmniejszył się do 40,84%, z uwagi na inne rozłożenie przybywających pojazdów. Ostatnia symulacja (wariant 8) miała za zadanie sprawdzenie, w jaki sposób zmieni się sprawność działania systemu transportowego w momencie, kiedy oprócz skrócenia odległości transportowej zostaną zsynchronizowane wszystkie, występujące w modelu, okna czasowe. W rezultacie nie zaobserwowano istotnych zmian w dystrybucji czasu pracy pojazdów wywozowych w odniesieniu do wariantu 6. Jedynie czas, w którym pojazdy przebywały załadowane uległ zmianie. (tab. 1).

Tabela 1. Procentowy rozkład poszczególnych stanów zajętości pojazdów wywozowych w kolejnych wariantach eksperymentu (źródło: opracowanie własne)

Table 1. Percentage distribution of vehicle states and occupancy in particular variants of the simulation. (Source: Own preparation)

Pojazdy w:	% Idle	% Transfer	% Loaded	% Blocked	Distance km	Loads
Wariant 1	0,1	36,8	63,1	62,9	20912,4	115
Wariant 2	0,2	58,4	41,4	41,3	27142,5	138
Wariant 3	0,2	41,3	58,5	58,4	25011,95	131
Wariant 4	0,2	58,4	41,4	41,3	27142,5	138
Wariant 5	0,2	56,9	42,9	42,7	27142,5	138
Wariant 6	0,2	60,8	39,1	38,9	27142,5	138
Wariant 7	0,2	58,8	41,0	40,8	24465,0	138
Wariant 8	0,2	60,8	39,07	38,9	24465,0	138

Podsumowanie

Analizując uzyskane podczas symulacji wyniki należy stwierdzić, że wszystkie badane elementy łańcucha dostaw drewna mają istotny wpływ na sprawność funkcjonowania układu. Najbardziej istotnym okazał się czas pracy kierowcy, który był jednym z trzech okien czasowych w zaprojektowanym systemie. Jego znaczenie okazało się bardzo istotne między innymi dlatego, że czas ten był najkrótszym okresem zastosowanym w modelu. Jednakże dopiero synchronizacja poszczególnych elementów może przynieść optymalne rozwiązania. W powyższej analizie najlepsze wyniki uzyskano nie dzięki wydłużaniu poszczególnych zmian pracy, a dzięki ich synchronizacji. Równie istotna okazała się odległość dostawy. Jej skrócenie o 10% przyniosło znaczące efekty.

Literatura

- Ballaun A. 1999. Rynek drzewny w aspekcie wprowadzenia procesu kładowania drewna oraz Norm Europejskich na surowiec drzewny, Rynek drzewny nr 3/99, 20-24.
- Bluszkowska U., Nurek T. 2010. Badanie sezonowości prac leśnych, Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna Nr 5, dostęp 2 listopad 2011 <http://www.pimr.poznan.pl/trol5_2010/UB5_2010.pdf>
- Chung W., Contreras M. 2011. Forest Transportation Planning Under Multiple Goals Using Ant Colony Optimization, Ant Colony Optimization - Methods and Applications, Avi Ostfeld (Ed.), ISBN: 978-953-307-157-2, InTech, dostęp 11 lipiec 2011 <<http://www.intechopen.com/articles/show/title/forest-transportation-planning-under-multiple-goals-using-ant-colony-optimization>>
- Contreras M.; Chung W., Jones G. 2008. Applying ant colony optimization metaheuristics to solve forest transportation planning problems with side constraints. Canadian Journal of Forest Research, 38,11,2896-2910.
- Cooper, M. C., Lambert D. M., Pagh J. D. 1997. Supply Chain Management: More Than a New Name for Logistics, The International Journal of Logistics Management, Vol. 8, No. 1, pp. 1-14.
- Council of Supply Chain Management Professionals (CSCMP), dostęp 22 sierpień 2011 <<http://cscmp.org>>
- Favreau J. (1999), Full-tree vs cut-to-length: looking beyond roadside, Canadian Forest Industries, Annex Publishing & Printing, Inc., HighBeam Research, dostęp 2 listopad 2011 <<http://www.highbeam.com>>
- Greulich F. 2003. Transportation networks in forest harvesting: early development of the theory [online]. In Proceedings of S3.04/3.06/3.07 Subject Area, IUFRO International Seminar on New Roles of Plantation Forestry Requiring Appropriate Tending and Harvesting Operations, 2-5 October 2002, Tokyo, Japan. International Union of Forest Research Organizations, Vienna, dostęp 20 sierpień 2011. <<http://faculty.washington.edu/greulich/Documents/IUFRO2002Paper.pdf>>
- Laurow Z. 1999. Pozyskiwanie drewna i podstawowe wiadomości o jego przerobie, Wydawnictwo SGGW, Warszawa.
- Martell D.; Gunn E., Weintraub A. 1998. Forest management challenges for operational researchers, European Journal of Operational Research, 104,1,1-17.
- Mentzer, J.T. i in. 2001. Defining Supply Chain Management, Journal of Business Logistics, Vol. 22, No. 2, 2001, s. 1-25.
- Muchowski T. 1999. Ocena skutków kupowania drewna okrągłego w postaci kłód z punktu widzenia producentów materiałów tertych, Rynek drzewny nr 3/99, 19-20.
- Olsson L., Lohmander P. 2005. Optimal forest transportation with respect to road investments, Forest Policy and Economics, 7,3,369-379.
- Rönnqvist M. 2003. Optimization in forestry, Mathematical Programming 97(1): 267-284
- Schenck C. A. 1911. Forest Policy, C.F. Winter, Darmstadt, s. 168.
- Sessions J.; Chung W., Heinimann H. 2003. New algorithms for solving large-scale transportation planning problems. Workshop Proceedings: New Trends in Wood Harvesting with Cable Systems for Sustainable Forest Management in the Mountains, s. 253-258, Ossiach, Austria, lipiec 2001.

- Starkowski D., Bieńczak K., Zwierzycki W. 2007. Samochodowy transport krajowy i międzynarodowy, Compendium wiedzy praktycznej. T. 3, Środowisko pracy kierowcy, logistyka, Wyd. Systherm, Poznań.
- Swaminathan M. J., Smith F. S., Sadeh M. N. 1993. Modeling Supply Chain Dynamics: a Multiagent Approach. *Decision Sciences* 29, s. 607-632.
- Ustawa z dnia 28 września 1991 roku o lasach, *Dzienniki Ustaw* 1991 r., nr 101, poz. 444, wraz z późniejszymi zmianami.
- Ustawa z dnia 06 września 2001 roku o transporcie drogowym, *Dziennik Ustaw* 2001 r., nr 125, poz. 1371, rozdz. 1, art. 4, wraz z późniejszymi zmianami.

Waldemar Sieniawski, Bolesław Porter

Katedra Użytkowania Lasu

Wydział Leśny SGGW w Warszawie

waldemar.sieniawski@wl.sggw.pl