

ŁUKASZ GŁOWACKI, WIKTOR TRACZ

Wykorzystanie systemów ekspertowych współpracujących z SIP w leśnictwie, na przykładzie aplikacji wspomagającej projektowanie leśnych ścieżek rowerowych

Application of expert systems integrated with GIS in forestry
on example of projecting of forest bicycle trails

ABSTRACT

Głowacki Ł., Tracz W. 2008. Wykorzystanie systemów ekspertowych współpracujących z SIP w leśnictwie, na przykładzie aplikacji wspomagającej projektowanie leśnych ścieżek rowerowych. Sylwan 6: 44-52.

Widely used IT System of Polish State Forests National Holding that is currently supported with forest digital map (LMN) allows advanced processing of digital data. LMN, which contains complete information about forest in digital form, allows using computation tools for realisation of planning and projecting tasks or modeling of forest ecosystems processes. This paper presents capabilities of using Expert Systems and GIS in forestry. The usefulness and effectiveness of Expert Systems and GIS in the process of projecting of bicycle trails in forest are discussed.

KEY WORDS

Expert systems, GIS, bicycle trails, recreational forests utilisation

ADDRESSES

Łukasz Głowacki
Gołdkowo 18; 06-120 Winnica

Wiktor Tracz – Katedra Urządzania Lasu, Geomatyki i Ekonomiki Leśnictwa SGGW;
ul. Nowoursynowska 159; 02-776 Warszawa; e-mail: Wiktor.Tracz@wl.sggw.pl

Wstęp

Powszechnie stosowany w Lasach Państwowych system informatyczny (SILP), uzupełniony obecnie Leśną Mapą Numeryczną (LMN), stwarza możliwość zaawansowanego przetwarzania gromadzonych danych cyfrowych. System Informacji Przestrzennej (SIP) obecny w Lasach Państwowych w postaci LMN zawiera rozbudowane numeryczne odwzorowanie faktycznego stanu lasu i umożliwia stosowanie narzędzi komputerowych do realizacji wielu zadań planistycznych, projektowych czy też modelowania procesów zachodzących w ekosystemach leśnych.

Wykorzystanie rozwiązań informatycznych skutkuje odmiennym podejściem do sposobu realizacji danego zadania. Użycie aplikacji komputerowych oznacza najczęściej konieczność wcześniejszego, dokładnego opisu zagadnienia w postaci algorytmicznej. Proces dojścia do rozwiązania musi być dokładnie znany. Programowa implementacja wiedzy dotyczącej rozwiązywanego problemu, zwalnia jednak z konieczności jej późniejszego przyswajania przez użytkownika takiego programu, a wykorzystanie jej w operującym bezpośrednio na danych cyfrowych systemie komputerowym może się odbywać znacznie wydajniej.

Jedną z metod, umożliwiających realizację złożonych zadań, jest wykorzystanie systemów ekspertowych (SE). Są to narzędzia z zakresu sztucznej inteligencji, pozwalające na usystematyzowanie i utrwalenie wiedzy ekspertów z danej dziedziny, w celu jej późniejszego wykorzystywania podczas rozwiązywania przedstawionego problemu. Zgromadzona wiedza, za pośrednictwem modułu wnioskującego, pozwala na odtworzenie toku postępowania eksperta bez konieczności jego bezpośredniego udziału.

W pracy przedstawiono możliwości wykorzystania SE i SIP w leśnictwie. Na przykładzie aplikacji wspomagającej projektowanie leśnych ścieżek rowerowych rozważono użyteczność i efektywność takiego rozwiązania.

Możliwości zastosowania SE współpracujących z SIP w leśnictwie

Prowadzenie współczesnej gospodarki leśnej wiąże się z koniecznością uwzględniania szerokiego spektrum funkcjonalności ekosystemów leśnych. Jednoczesne realizowanie funkcji produkcyjnych, ochronnych i społecznych, wymaga dużego zaangażowania na etapie planowania i podejmowania decyzji z zakresu urządzania, hodowli i ochrony lasu.

SE nie są uniwersalnym narzędziem, ale w wielu przypadkach ich zastosowanie może służyć ocenie poprawności realizowanych działań lub bezpośrednio wspomagać ich podejmowanie. Według Chwiałkowskiego [1991] o możliwości budowy SE decydują podstawowe wytyczne, wymagające:

- istnienia problemu dotyczącego stosunkowo wąskiej, dobrze sprecyzowanej dziedziny,
- istnienia ekspertów dziedziny, wykazujących się poziomem wiedzy znacznie przekraczającym przeciętny,
- w pełni zrozumiałej natury opracowywanego problemu.

O celowości zastosowania SE decydują [Chwiałkowski 1991]:

- utrudniona dostępność do specjalistów z danej dziedziny, warunkowana przykładowo ich niewielką liczbą,
- konieczność częstego podejmowania decyzji lub jednoczesnej realizacji zadania w wielu miejscach,
- wymagany znaczny wkład pracy w rozwiązanie problemu – rozwiązanie zadania nie jest zbyt trywialne przy realizacji tradycyjnymi metodami i wiąże się z znacznymi nakładami czasowymi.

Ze względu na rodzaj wykonywanego przetwarzania, SE można podzielić na trzy podstawowe grupy [Mulawka 1996]: doradcze (advisory) – wspomagające podjęcie decyzji, podejmujące decyzje autonomicznie, bez udziału człowieka (dictatorial) i krytykujące (criticizing) – oceniające prawidłowość zaprezentowanych wniosków i decyzji.

W oparciu o przedstawione wytyczne realizacji SE można znaleźć wiele potencjalnych zastosowań tej dziedziny sztucznej inteligencji w gospodarce leśnej. Celowa wydaje się być przede wszystkim realizacja aplikacji podejmujących działania z zakresu urządzania lasu, np. decydujących o optymalnym przebiegu granicy polno-leśnej, planujących pozyskanie, optymalizujących przebieg szlaków komunikacyjnych, wspomagających zagospodarowanie rekreacyjne itp. Możliwe jest również wykorzystanie SE realizujących nie tylko zadania doradcze. Szczególnie interesująca może być próba wykorzystania tego narzędzia w symulowaniu przebiegu wybranych zjawisk, zachodzących w ekosystemach leśnych [Tracz 2004]. Można sobie wyobrazić SE,

który na podstawie pobranych z SIP (czy LMN) danych charakteryzujących wskazany obszar leśny oraz takich informacji jak aktualny kierunek i siła wiatru, wilgotność ściółki, ukształtowanie terenu itd. – przewiduje rozwój pożaru na wskazanym terenie. Szybkość przetwarzania ciągle zmieniających się danych, będzie kluczowa dla podjęcia optymalnych działań, mających na celu opanowanie powstającego pożaru.

O takim wykorzystaniu współpracujących z SIP SE decyduje łatwość przeprowadzania analiz przestrzennych. Systemy informacji przestrzennej odwzorowując rzeczywistość w postaci określonych warstw informacyjnych, umożliwiają budowę modeli ułatwiających zrozumienie problemu i jego analizę [Tracz 2003]. SE funkcjonuje w tym przypadku jako wygodne narzędzie, pozwalające na szczegółową interpretację danych i modyfikowanie lub tworzenie na jej podstawie nowych elementów modelowanego obiektu lub zjawiska.

Realizacja systemu ekspertowego wspomagającego projektowanie leśnych ścieżek rowerowych

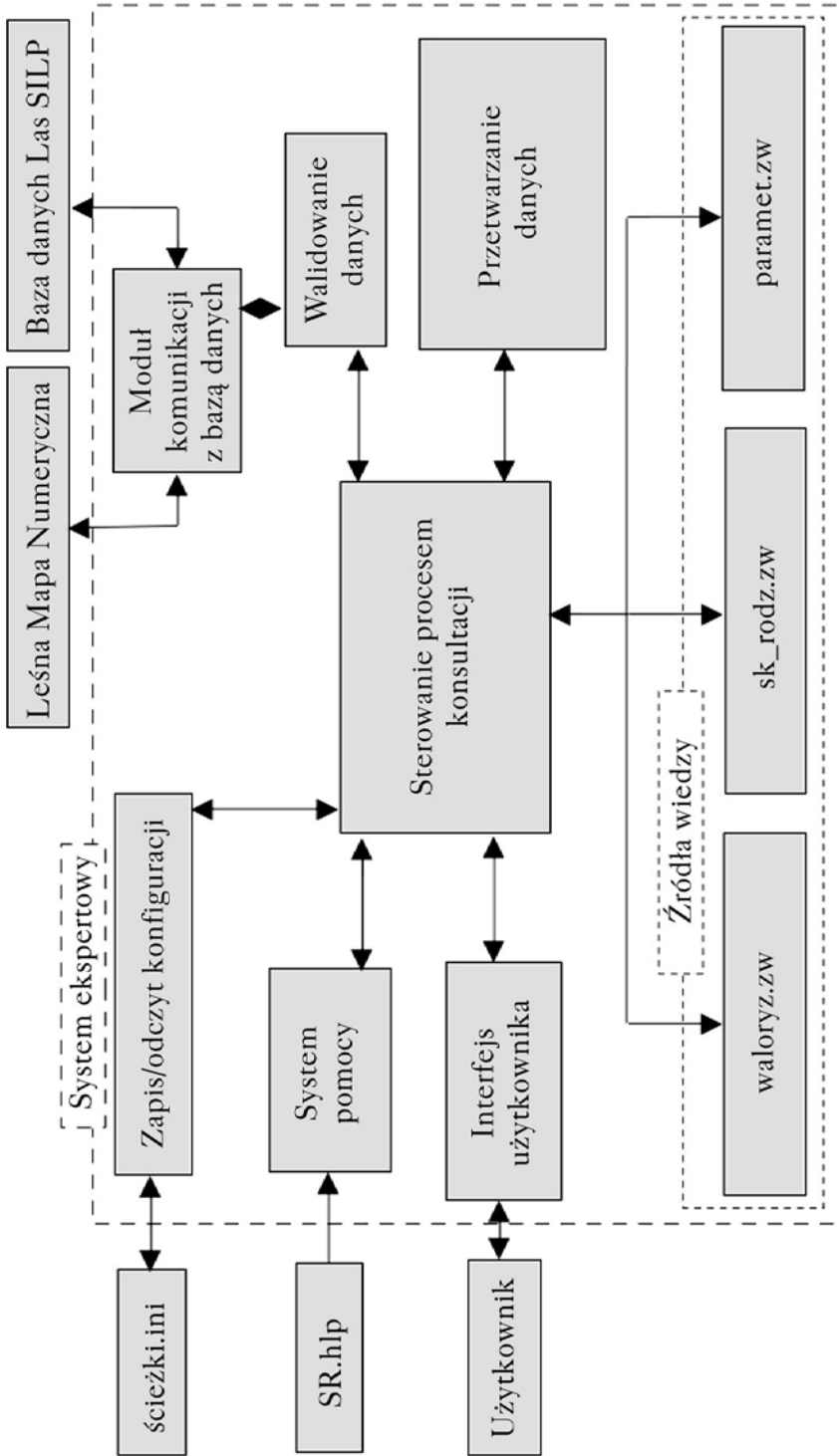
Planowanie udostępnienia rekreacyjnego lasów oznacza potrzebę projektowania spójnych i wzajemnie powiązanych szlaków spacerowych, rowerowych, konnych, uzupełnionych obiektami turystycznymi w postaci pól biwakowych, kempingów, miejsc postoju itp. Tworzona infrastruktura ma zapewnić przejście presji ruchu turystycznego z jednoczesnym zachowaniem warunków do swobodnej realizacji różnych form rekreacji [Pieńkos 2004]. Pełna realizacja projektu nowej sieci ścieżek rowerowych jest procesem wielostopniowym. Oprócz uwzględnienia oczekiwań użytkowników, wymaga oceny czynników środowiskowych i możliwości technicznych.

Na podstawie analizy problemu projektowania leśnych ścieżek rowerowych podjęto próbę budowy SE, ułatwiającego zrealizowanie istotnych etapów tego zadania osobom nieposiadającym wystarczającej wiedzy. Stworzono aplikację realizującą dwie podstawowe funkcje, polegające na ocenie przydatności rekreacyjnej drzewostanów (waloryzacja rekreacyjna) oraz analizie możliwości wykorzystania istniejących obiektów liniowych jako potencjalnych elementów projektowanej ścieżki rowerowej. Proces pobierania danych oraz przeprowadzenie wnioskowania zostało maksymalnie zautomatyzowane przez stworzenie odpowiedniego algorytmu sterującego SE [Głowacki 2007].

Budowa aplikacji eksperckiej została oparta na szkieletowym systemie ekspertowym PC-SHELL 4.1, należącym do pakietu narzędziowego Sphinx. W trakcie wnioskowania system poddaje analizie wydzielenia i obiekty liniowe z warstw LMN. Dodatkowe dane opisowe zostają odczytane z bazy danych LAS Systemu Informatycznego Lasów Państwowych. Wyniki wnioskowania aktualizują właściwe warstwy mapy numerycznej. Kontrola działania aplikacji odbywa się za pomocą graficznego interfejsu użytkownika (GUI), wykorzystującego proste menu i szereg okien dialogowych. Schemat blokowy systemu ekspertowego „Ścieżki rowerowe” jest przedstawiony na rycinie 1.

Praktyczna implementacja systemu polegała na uzupełnieniu szkieletu PC-SHELL wiedzą, wyrażoną za pomocą udostępnionego języka reprezentacji wiedzy. Wykorzystano unikalną cechę środowiska Sphinx, pozwalającą na używanie zarówno wiedzy deklaratywnej (w postaci reguł i faktów), jak i wiedzy proceduralnej (wiedza algorytmiczna) [Michalik 2004].

Wiedza deklaratywna jest zapisana w bazie reguł, umożliwiającej przeprowadzenie waloryzacji rekreacyjnej oraz ocenę przydatności odcinków liniowych. Na podstawie siedliskowego typu lasu oraz klasy wieku drzewostanu zostaje ustalona wstępna ocena przydatności obiektu (w realizowanym systemie jest nim pojedyncze wydzielenie). Wynik zostaje następnie poddany korekcji na podstawie kryteriów uzupełniających, określających: skład rodzajowy drzewostanu,



Ryc.

Schemat blokowy systemu ekspertowego „Ścieżki rowerowe”
 Scheme of expert system „Ścieżki rowerowe”

zwarcie, występowanie podrostów i podszytów oraz typ pokrywy glebowej. Końcowy wynik wnioskowania skutkuje określeniem stopnia przydatności drzewostanu dla potrzeb rekreacji według zaproponowanej przez IBL skali [Łonkiewicz i Głuch 1991]:

1. drzewostany o bardzo dużej przydatności,
2. drzewostany o dużej przydatności,
3. drzewostany o średniej przydatności,
4. drzewostany o małej przydatności,
5. drzewostany nieprzydatne.

W procesie wnioskowania wykorzystywane są również dane określające skład rodzajowy drzewostanu w zakresie wymaganym przez zastosowaną metodę.

Wiedza opisująca postępowanie służące ocenie przydatności odcinków liniowych jako potencjalnych elementów projektowanej ścieżki rowerowej opiera się na wytycznych ekspertów dziedziny, łącznie z zaleceniami IBL. SE warunkuje sposób wnioskowania, odczytanym z bazy danych, atrybutem określającym typ analizowanego obiektu liniowego. W przypadku obiektów posiadających sztucznie przygotowaną nawierzchnię, przydatność określa minimalna szerokość ścieżki. Jest ona ustalana w czasie konsultacji, wskazaniem przez operatora systemu wariantu ścieżki jednokierunkowej lub dwukierunkowej. Obiekty nieposiadające odpowiednio przygotowanej nawierzchni, zostają poddane dalszej analizie oceniającej pokrywę, typ gleby oraz uwilgotnienie. Ostateczną ocenę różnicuje trójstopniowy wskaźnik trudności trasy, ustalony wyborem dokonany przez operatora systemu. W wyniku przeprowadzonego wnioskowania badane odcinki liniowe zostają ocenione według następującej skali [Głowacki 2007]:

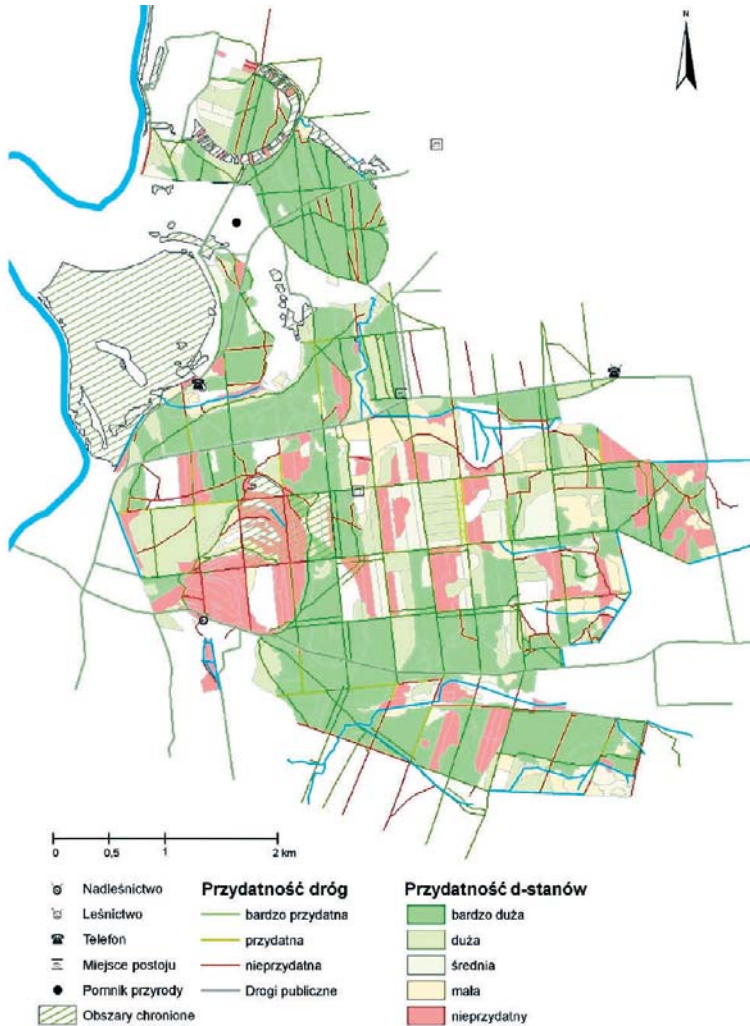
1. odcinek bardzo przydatny,
2. odcinek przydatny,
3. odcinek nieprzydatny.

Oceny uzyskane z opisanych etapów wnioskowania aktualizują tabele atrybutów warstwy wydzieleń i warstwy obiektów liniowych. Rycina 2 przedstawia wyniki waloryzacji.

System ekspertowy steruje kolejnością procesów wnioskowania, odczytem, przeszukiwaniem i modyfikacją wykorzystanych baz danych oraz oceną poprawności odczytanych z nich informacji. Algorytm obsługujący aplikację odpowiada również za przygotowanie interfejsu użytkownika, zapisywanie i odczyt zmiennych konfiguracyjnych, udostępnienie systemu pomocy oraz wywoływanie właściwych okien dialogowych i przetwarzanie pozyskanych z nich informacji w odpowiedzi na zdarzenia systemowe.

W celu oceny przydatności dokonanych analiz, podjęto próbę zaprojektowania przykładowej ścieżki rowerowej. Prace projektowe przeprowadzono dla wykorzystanego w przetwarzaniu obszaru Leśnictwa Popławy w Nadleśnictwie Pułtusk. Wyniki wnioskowania przeprowadzonego przez aplikację ekspercką są wyświetlane razem ze związanymi z rekreacją, istniejącymi elementami infrastruktury inżynierskiej. Wyszczególniono również dostępne drogi publiczne i obiekty chronione. Opierając się na wytycznych projektowania obiektów rekreacyjnego zagospodarowania lasu na podstawie stworzonej wizualizacji wytyczono projekt ścieżki (ryc. 3). Zgodnie z sugestiami planu urzędzeniowego zaprojektowano krótką, jednodniową trasę, przeznaczoną dla mieszkańców przyległego miasta.

Stworzony SE przeprowadził wnioskowanie dla 526 wydzieleń i 1539 odcinków liniowych odczytanych z bazy danych dla wykorzystanego w pracy obszaru leśnictwa. W wyniku oceny 29% wydzieleń zostało ocenionych jako nieprzydatne do celów rekreacyjnych, a 32,5% jako bardzo

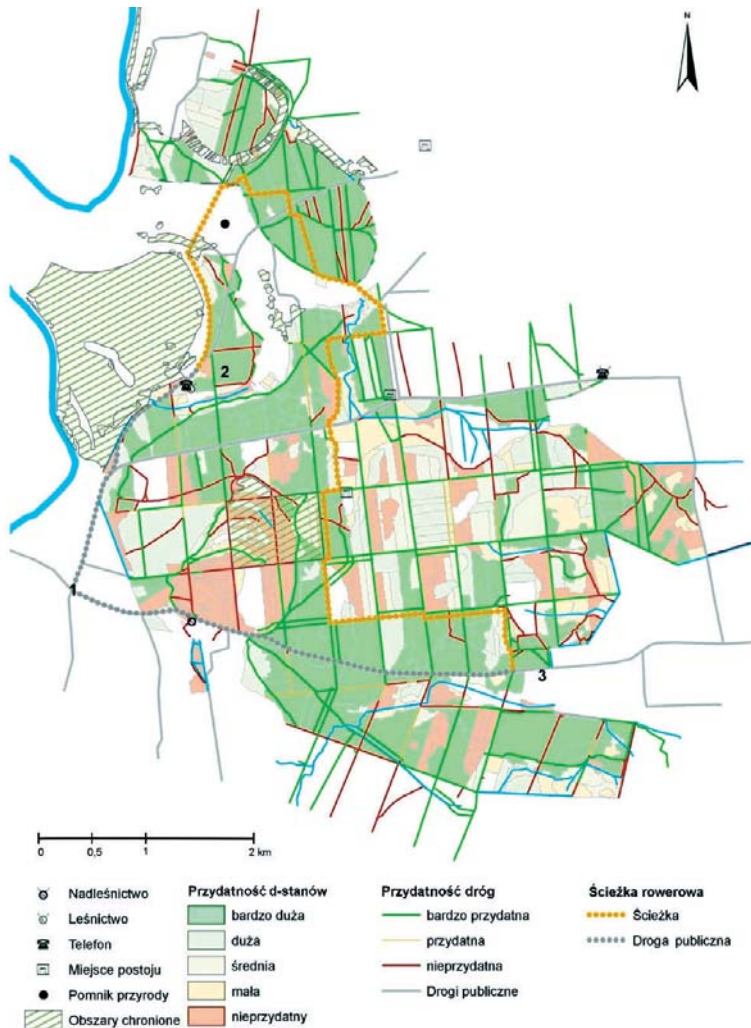


Ryc. 2.

Waloryzacja obiektów liniowych i wydzieliń
 Valourisation of stands and linear objects

przydatne. Analiza dla komunikacyjnych odcinków liniowych, w konsultacji dla ścieżki dwukierunkowej, średnio zaawansowanej, oceniła 26,5% obiektów jako nieprzydatne do budowy ścieżki rowerowej, a 62,3% jako bardzo przydatne (analiza uwzględniała zawarte w tej warstwie drogi publiczne).

Wykorzystanie SE w procesie przetwarzania danych SIP wykazuje znaczny wzrost szybkości przeprowadzania analiz w porównaniu z ich manualnym przetwarzaniem. Proces waloryzacji rekreacyjnej dla obszaru całego leśnictwa został wykonany przez aplikację ekspercką w czasie poniżej 1 minuty. Podobnie niewiele dłużej trwała ocena przydatności odcinków liniowych. Umożliwiło to dokonanie analizy szlaków komunikacyjnych dla całego rozpatrywanego obszaru. Tradycyjna analiza wszystkich danych wykorzystanych przez SE ze względu na znaczną czasochłonność jest nieracjonalna. Dostępność pełnych danych waloryzacyjnych



Ryc. 3.

Projekt ścieżki rowerowej
Project of bicycle trail

i wyników analizy odcinków liniowych dla całego kompleksu leśnego znacznie ułatwiła przeprowadzenie kolejnych etapów wyboru optymalnej trasy. Jednocześnie bezpośrednia współpraca SE z SIP pozwoliła na kontynuowanie pracy w komputerowych programach edycyjnych, zapewniających swobodną wizualizację i umożliwiła dalsze analizy źródłowych danych numerycznych.

Podsumowanie

Wprowadzenie SE jako narzędzia realizującego istotne zadania procesu projektowania ścieżek rekreacyjnych (rowerowych) pozwala na częściowe zwolnienie użytkownika końcowego z konieczności przyswajania szczegółowej wiedzy dotyczącej waloryzacji siedlisk leśnych oraz oceny możliwości wykorzystania naturalnych elementów środowiska leśnego dla potrzeb

rekreacji. Wykorzystanie aplikacji eksperckiej pozwala na usystematyzowanie często praktycznej, trudno dostępnej wiedzy.

Możliwość błyskawicznego przeszukiwania, klasyfikowania i modyfikowania danych cyfrowych, bezpośrednio w wewnętrznych strukturach bazy danych SIP bez konieczności ich wizualizacji, wpływa na znaczny wzrost efektywności przetwarzania informacji. Duże oszczędności czasowe, w porównaniu z tradycyjnymi metodami analiz, pozwoliły na przetworzenie znacznych ilości danych i tym samym umożliwiły całościową prezentację naturalnych uwarunkowań wybranego obszaru.

Przyjęta koncepcja budowy aplikacji opartej o zapewniające wysoką modularność gotowe rozwiązanie informatyczne (system szkieletowy PC-SHELL) pozwala na dalszą rozbudowę typowo testowej aplikacji. Realizacja projektu dla niewielkiego, mało zróżnicowanego obszaru leśnego pozwoliła na znaczne uproszczenie tworzonego systemu. Możliwe jest jednak dołączenie kolejnych źródeł wiedzy, analizujących takie czynniki jak ukształtowanie terenu czy zróżnicowane preferencje turystyczne i uwzględniających istniejącą infrastrukturę rekreacyjnego zagospodarowania lasu, a być może nawet samodzielne tyjących optymalną trasę.

Systemy ekspertowe pozwalają na głęboką integrację z SIP. Intensywne wykorzystanie SILP i LMN stwarza możliwość wspomagania realizacji złożonych, lecz ściśle sprecyzowanych zadań, z wykorzystaniem wiedzy zgromadzonej w aplikacjach eksperckich. Ich stosowanie wpływa na optymalizację i zwiększenie efektywności rozwiązywania problemów współczesnego leśnictwa.

Literatura

- Chwiałkowski E. 1991. Sztuczna inteligencja w systemach eksperckich. Warszawa.
- Głowacki Ł. 2007. Projektowanie ścieżek rowerowych z wykorzystaniem systemów ekspertowych w rekreacyjnie zagospodarowanych lasach Nadleśnictwa Pułtusk. Praca magisterska. Wydział Leśny SGGW, Warszawa.
- Łonkiewicz B., Głuch G. 1991. Wytyczne rekreacyjnego zagospodarowania lasów. IBL, Warszawa.
- Michalik K. 2004. PC-SHELL 4.1 dla Windows 9x/NT/200. Szkieletowy system ekspertowy. Podręcznik inżyniera wiedzy. AITECH, Katowice.
- Mulawka J. J. 1996. Systemy ekspertowe. WNT, Warszawa.
- Pieńkos K. 2004. Plany i projekty zagospodarowania lasów dla potrzeb turystyki i rekreacji. Warszawa.
- Tracz W. 2003. Wykorzystanie sieci neuronowych wspomagających SIP w analizach przestrzennych w leśnictwie. Sylwan 12: 36-44.
- Tracz W. 2004. New analytical methods in forestry: integration of Expert Systems and Artificial Neural Networks with GIS. Electronic Journal of Polish Agricultural Universities, series Forestry, volume 7, issue 1.

SUMMARY

Application of expert systems integrated with GIS in forestry on example of projecting of forest bicycle trails

Application of GIS in forestry allows advanced processing of collected spatial data. Widely used IT System of Polish State Forests National Holding that is currently supported with forest digital map (LMN) allows advanced processing of digital data. LMN, which contains complete information about forest in digital form, allows using computation tools for realisation of planning and projecting tasks or modeling of forest ecosystems processes.

This paper presents capabilities of using Expert Systems and GIS in forestry. The usefulness and effectiveness of Expert Systems and GIS in the process of projecting of bicycle trails in forest were discussed. Created expert system realizes two basic functions that are assessment

of recreational attractiveness of forest stands and evaluation of roads and paths as potentially available to be a bicycle trail part. The expert system, which processes GIS data, causes significant increase in efficiency of performance during the analyses in comparison with manual data processing. The process of assessment of recreational attractiveness of forest stands, fulfilled by the expert system, lasted around one minute and evaluation of roads and paths did not take longer than a minute. This allowed evaluating all roads and paths in analyzed area. Integration of GIS with the expert system and SILP makes visualization of results easy and effective. In order to assess usefulness and quality of the system, the one-day bicycle trail was projected based on decisions made by the expert system.

Use of the expert system, which directly operate on data base structure of GIS, significantly increases effectiveness of information processing. Automation of decision process allows performing detailed analyses by users that may not possess detailed and sufficient knowledge.