

## STANOWISKO DO POMIARU SZEROKOŚCI KRAWĘDZI NARTY

Anna GOLIJANEK-JĘDRZEJCZYK<sup>1</sup>, Konrad MICHALSKI<sup>2</sup>

1. Politechnika Gdańska, Wydział Elektrotechniki i Automatyki  
tel.: 58-347-17-78 e-mail: anna.golijanek-jedrzejczyk@pg.gda.pl
2. P.H.U. SPORTLAND Daniel Michalski  
tel.: 600266533 e-mail: m-konrad@o2.pl

**Streszczenie:** Regeneracja sprzętu narciarskiego zapewnia nie tylko niezapomniane doznania na stoku, ale przede wszystkim bezpieczeństwo. Serwisowanie nart, poza smarowaniem, to w głównej mierze ostrzenie krawędzi na specjalistycznych szlifierkach. Poprawne wykonanie tej usługi polega na naostrzeniu krawędzi przy jednoczesnej minimalizacji ilości zebranego z narty materiału, co nie jest prostym zadaniem, gdyż typowa szerokość krawędzi narty jest rzędu 1,5 mm. W referacie zaprezentowane zostało specjalistyczne stanowisko zaprojektowane dla potrzeb serwisu nart (zarówno od strony sprzętowej jak i programowej). Zbudowany system pomiarowy umożliwia jednoczesny pomiar szerokości krawędzi narty w zakresie pomiarowym od 0,2 mm do 2 mm, zapewniając analizę szerokości krawędzi narty na ok. 80% jej długości.

**Słowa kluczowe:** system pomiarowy, systemy wizyjne, analiza obrazu.

### 1. WPROWADZENIE

Narty towarzyszą ludzkości od ponad 5 tys. lat. Najstarsze ślady używania nart przetrwały w formie rysunków naskalnych odkrytych w rejonie Morza Białego i jeziora Bajkał. Służyły one do przemieszczania się człowieka w ciężkich warunkach terenowych i atmosferycznych. Początkowo narty przypominały rakiety śnieżne umożliwiając użytkownikowi utrzymywanie się na powierzchni śniegu. Norweg Sondre Norheim, nazywany ojcem narciarstwa klasycznego, jako pierwszy na podstawie własnych obserwacji wykonał drewniane narty, którym nadał łukowaty kształt [1-2]. Były to narty wąskie pod stopą i szerokie w okolicy dziobów i pięt, na których wykonywał skręt nazywany telemarkiem.

W latach sześćdziesiątych ubiegłego stulecia rozwój technologii umożliwił produkcję nart kompozytowych. Prosta drewniana budowę narty zastąpiono konstrukcją zawierającą: drewniany rdzeń, płaszcz zewnętrzny z materiału odpornego na uszkodzenia mechaniczne, ślizg z polietylenu oraz metalowe krawędzie. Początkowo krawędzie były przykręcane lub nitowane bezpośrednio do rdzenia narty [2]. Narty z przykręcanymi krawędziami miały jednak wiele wad. Szerokie metalowe krawędzie nie wchłaniały smaru przez co pogarszały się właściwości ślizgowe narty. Dodatkowo przykręcanie krawędzi od spodu uniemożliwiało wyrównywanie ślizgu przez co naprawa nart była utrudniona.

W latach 80-tych XX wieku przykręcanie krawędzi zastąpiono jej klejeniem. W ten sposób zredukowano pole

powierzchni stykającego się metalu ze śniegiem oraz umożliwiono szlifowanie ślizgów [3]. Technologia wklejania krawędzi pozostała niezmienną do dziś.

Na przestrzeni kilkunastu lat równoległy rozwój infrastruktury ośrodków zimowych, sprzętu narciarskiego oraz łatwość w opanowaniu umiejętności jazdy spowodowały pojawienie się ogromnej liczby użytkowników. Przeciętny narciarz już po paru tygodniach doskonalenia techniki jazdy zaczyna odczuwać nie tylko właściwości zakupionych nart, ale również stan ich zużycia. W efekcie regeneracja sprzętu narciarskiego stała się nieodłącznym elementem zapewniającym bezpieczeństwo i niezapomniane doznania na stoku.

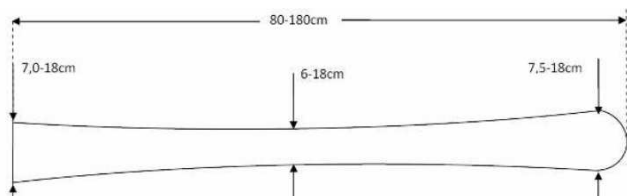
Obecny koszt serwisu nart to wydatek rzędu 50 zł – 100 zł co sprawia, że w stosunku do zakupu nart (1000 zł – 5000 zł) jest to usługa opłacalna i umożliwia bezpieczną i dłuższą eksploatację zakupionego sprzętu [4]. Częstość wykonywania regeneracji nart jest uzależniona od intensywności ich użytkowania oraz jakości przygotowania stoków narciarskich.

Serwisowanie nart, oprócz smarowania, w dużej mierze polega na ostrzeniu krawędzi. Proces ten wykonywany jest na specjalistycznych szlifierkach. Problem polega na określeniu ilości zebranego materiału. W celu naostrzenia należy zebrać pewną grubość krawędzi. Kryterium poprawnie wykonanej usługi (procesu) jest nie tylko osiągnięcie ostrej krawędzi, ale również zebranie jak najmniejszej ilości materiału. Przeciętna szerokość krawędzi, rozumiana jako długość odcinka między łączeniem metalu ze ślizgiem, a krańcem krawędzi narty to ok. 1,5 mm. Sprawia to trudności w określeniu faktycznie zebranego materiału przez operatora szlifierki (serwisanta). Wiedza na temat szerokości krawędzi całej narty pozwala oszacować możliwą liczbę jej ostrzeń w serwisie narciarskim.

Celem projektu była budowa stanowiska pomiarowego wyposażonego w system wizyjny, które umożliwi pomiar szerokości krawędzi narty na ok. 80% jej długości [5].

### 2. BADANY OBIEKT

Na rysunku 1 przedstawiono profil typowej narty oraz zakres zmian jej wymiarów w zależności od budowy.



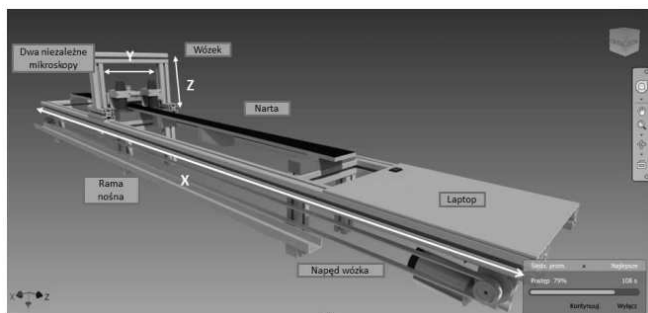
Rys. 1. Geometria narty (widok z góry) [5]

Założono, że zaprojektowane stanowisko powinno umożliwiać jednoczesne obustronne badanie szerokości krawędzi nart o geometrii przedstawionej powyżej.

### 3. ZAPROJEKTOWANY SYSTEM POMIAROWY

Przyjęto następujące założenia projektowe odnośnie funkcjonalności budowanego stanowiska pomiarowego: pomiar nart o różnej geometrii, prosta obsługa, możliwość łatwej rekonfiguracji systemu, dokładność pomiaru na poziomie 0,2 mm, zakres pomiarowy od 0,2 mm do 2 mm, praca w warunkach pokojowych, wyniki pomiaru prezentowane w postaci wykresu oraz archiwizowane do pliku, czas pomiaru nie powinien przekraczać 10 min (ze względu na brak konkurencyjnych rozwiązań na rynku spełnienie kryterium czasowego dla przeprowadzanego pomiaru był celem drugorzędym) oraz koszt stanowiska nie przekraczający 3000 zł (nie uwzględniając komputera).

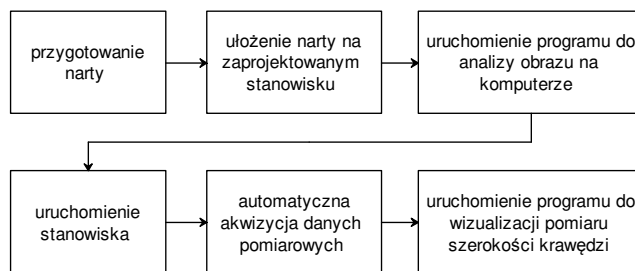
Na rysunku 2 przedstawiono wizualizację stanowiska pomiarowego wykonaną w programie Autodesk Inventor.



Rys. 2. Wizualizacja stanowiska pomiarowego [5]

Głównym elementem tego stanowiska jest rama nośna, która umożliwia montaż poszczególnych elementów oraz przesuw wózka głównego wzdłuż osi X. Rozmieszczenie podpór ramy nośnej umożliwia swobodne ułożenie różnego typu nart na stanowisku oraz jej stabilność. Wózek napędzany jest silnikiem prądu stałego poprzez pas transmisyjny. Na ramie nośnej przewidziano miejsce na komputer wyposażony w aplikację dokonującą analizy obrazu. Sterowanie napędem oraz niezbędne zasilacze umieszczono pod laptopem. Rama nośna wózka stanowi również prowadnicę, w której przemieszcza się mocowanie mikroskopów wzdłuż osi Z. Poprzez zastosowanie rolki ograniczającej przytwierdzonej do profilu zapewniona jest stała odległość obiektywu od badanej krawędzi. Uchwyty mikroskopów mogą przesuwać się wzdłuż osi Y. W celu rozsunięcia kamer do pozycji krańcowych wykorzystano silnik krokowy umieszczony po drugiej stronie profilu.

Ogólną procedurę przeprowadzania pomiarów przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 3. Procedura przeprowadzania pomiaru szerokości krawędzi

Przygotowaną nartę należy ułożyć ślizgiem do góry oraz piętą narty w kierunku stanowiska komputerowego i dosunąć ją do ogranicznika krańcowego w celu uzyskania powtarzalności pomiarów tego samego wycinka krawędzi. Ze względu na różną budowę nart i zwyczajowe zaokrąglenie tyłów nart przez producentów pominięto pomiar pierwszych 10 cm krawędzi narty oraz krawędzi na dziobie narty.

#### 3.1. Napęd wózka

Napęd wózka głównego zrealizowano przy użyciu silnika prądu stałego wraz z przekładnią firmy Dunkenmotoren [5]. Dane znamionowe tej maszyny to: napięcie zasilania 40 V, prąd znamionowy 1,61 A, prędkość obrotowa 3500 obr/min, przekładnia 10:1, moment 300 Ncm. Silnik ten wybrano ze względu na niską cenę, zintegrowaną przekładnię i koło zębate oraz wysoki moment obrotowy.

#### 3.2. Silnik krokowy

Mechanizm rozsuwania mikroskopów do pozycji krańcowych zrealizowano przez kołowrotek nasadzony na wał silnika krokowego, który poprzez linkę przytwierdzoną do uchwytów kamer umożliwia ich rozsuniecie. Kołowrotek wykonano na drukarce 3D.

Za rozsuniecie wózków kamer odpowiada silnik krokowy 42BYGH023-02 o prądzie znamionowym 0,4 A, kroku 1,8° i zasilaniu nominalnym równym 12 V. Wał o średnicy 5 mm oraz niewielkie wymiary (42x42x33 mm) umożliwiły jego montaż bezpośrednio na wózku głównym [5].

Do sterowania silnikiem wybrano sterownik SSK-B01 przystosowany do pracy z silnikami z 4, 6 lub 8 wyprowadzeniami, z maksymalnym prądem 2 A na fazę.

#### 3.3. Mikroskopy

Do akwizycji obrazu wybrano mikroskop firmy Delta Optical. Model SMART jest propozycją w zakresie mikroskopów podręcznych USB, podłączanych bezpośrednio do portu komputera. Wysokiej jakości matryca CMOS 1/4" zapewnia ostry i nasycony kolorami obraz. Regulacja powiększenia jest dostępna w zakresie od 10x do 250x. Rozdzielczość maksymalna wynosi 2 Mpix (1600x1200). Zdjęcia zapisywane są w formacie JPG lub BMP, natomiast zapis video odbywa się do pliku AVI [5]. Parametry techniczne wystarczające do realizacji projektu oraz cena stanowiły podstawowe kryterium doboru.

Dla skonfigurowanego docelowo mikroskopu obszar roboczy to powierzchnia ok. 36 mm<sup>2</sup>.

W celu przeliczenia liczby pikseli na jednostkę długości w mm wykonano zdjęcie mikroskopem nad podziałką o rozstawie 5 mm. Następnie w programie graficznym zmierzono odległość podziałki w pikselach.

Na podstawie zmierzonych wartości obliczono liczbę pikseli przypadających na jeden milimetr. Dla rozdzielczości okna głównego 1280x480 pix, przy rozpatrywaniu każdej kamery osobno przeliczniki długości wynoszą odpowiednio: mikroskop prawy – 1 mm > 85,4 pix, mikroskop lewy – 1 mm > 86,6 pix. Różnica przeliczników wynika z mocowania kamer na różnych wysokościach względem podziółki. Zachowanie tego samego dystansu jest praktycznie niemożliwe ze względu na bardzo małe odległości i ograniczoną dokładność wykonanego mocowania.

### 3.4. Mikrokontroler

W projektowanym systemie pomiarowym wykorzystano mikrokontroler ATmega328 firmy Atmel AVR. Do najważniejszych zadań programu zaimplementowanego na nim należy zaliczyć: inicjalizację zmiennych wykorzystywanych w programie; sprawdzenie czy wózek znajduje się w pozycji krańcowej; uruchomienie silnika krokowego w celu rozsunięcia mikroskopów; uruchomienie napędu głównego w celu przesunięcia wózka do pozycji początkowej; w przypadku dotarcia wózka do pozycji startowej, zatrzymanie napędu oraz zsuniecie mikroskopów; sprawdzenie właściwego docisku wózków kamer do krawędzi oraz wysłanie odpowiedniego komunikatu przez port USB do komputera; po wysłaniu komunikatu o poprawności pozycji wózków mikroskopów, uruchomienie napędu głównego w celu przesuwania wózka do pozycji końcowej.

Co więcej mikrokontroler na bieżąco sprawdza docisk rolki ograniczającej pozycje wózków kamer podczas skanowania narty. Po osiągnięciu przez wózek pozycji końcowej następuje zatrzymanie napędu głównego oraz zostaje wysłana informacja, że stanowisko czeka na ponowne uruchomienie. W przypadku, gdy pod koniec skanowania dziób narty nie zostaje wykryty, mikrokontroler wysyła informacje do komputera o końcu skanowania.

### 4. OPROGRAMOWANIE

Kontrolerem systemu pomiarowego jest komputer osobisty wyposażony w specjalistyczne oprogramowanie RoboRealm oraz aplikację o nazwie „wyniki\_pomiaru.pu” opracowaną na potrzeby tego projektu, wizualizującą wyniki pomiarowe.

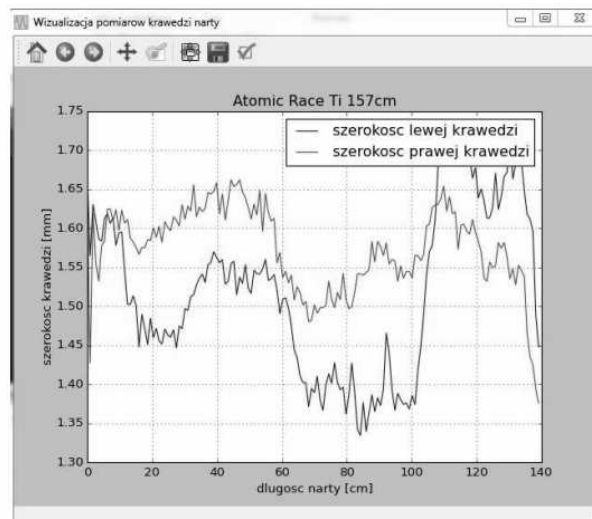
Środowisko RoboRealm umożliwia analizę i akwizycję obrazu na bieżąco, przy jednoczesnym dostępie do szeregu funkcji sterujących z poziomu komputera. Sposób programowania polega na wyborze i dodaniu bloków funkcyjnych przez metodę double-click. Dodane funkcje można modyfikować zarówno w programie jak i przez skrypty w języku Visual Basic [6].

Zaprojektowana aplikacja została skonfigurowana tak, że po uruchomieniu środowiska RoboRealm bezpośrednio rozpoczyna się pomiar szerokości krawędzi narty. Na potrzeby projektu w celu przygotowania obrazu i akwizycji danych pomiarowych przeprowadzono kolejno następujące operacje: przechwycenie zdjęcia z obydwu kamer oraz scalenie ich w jeden, przeprowadzenie procesu progowania obrazu i wygładzenie krawędzi, wykrycie i pomiar szerokości krawędzi narty dedykowaną funkcją środowiska RoboRealm [7], skalowanie jednostek (z pix na mm) oraz zapis danych do pliku tekstowego.

Wizualizacja wyników pomiarowych odbywa się w programie *wyniki\_pomiaru.pu*. Aplikacja została napisana

w języku Phython w oparciu o bibliotekę matplotlib ułatwiającą tworzenie wykresów.

W oknie programu należy podać nazwę narty oraz długość jej krawędzi. Po zatwierdzeniu wprowadzonych danych program korzysta z pliku tekstowego utworzonego przez zaprojektowaną aplikację, a wyniki pomiarów prezentowane są w formie wykresów dla obu krawędzi (rys. 4).



Rys. 4. Przykładowa wizualizacja pomiarów krawędzi narty

Poruszanie kursorem po obszarze wykresu umożliwia dokładny odczyt szerokości krawędzi. Dzięki wykorzystaniu gotowej biblioteki możliwy jest również zapis wykresu do pliku w formacie ".png".

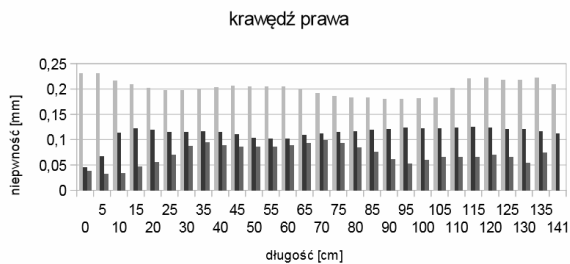
### 5. WALIDACJA SYSTEMU POMIAROWEGO

Zbudowany system wizyjny był testowany zarówno w fazie projektowania jak i po zakończeniu jego budowy. Przeprowadzono liczne pomiary, których celem było: zbadanie dokładności pomiaru, odporności na zakłócenia, powtarzalności pomiarów oraz pracy stanowiska ze względu na różnorodną geometrię nart. Testom poddano trzy narty, o różnym stopniu zużycia, różnej długości oraz innego taliowania.

Jako wzorzec odniesienia posłużyły pomiary wykonane za pomocą oprogramowania dołączonego przez producenta mikroskopów Smart Analysis 1.0. Wykorzystana aplikacja pozwala zarówno na kalibrację urządzeń jak i umożliwia pomiar zaznaczonych odcinków na obrazie. Zdjęcia mikroskopami zostały wykonane w odległości co ok. 2 cm, w wyniku czego uzyskano ok. 70 punktów pomiarowych na każdej krawędzi narty. W celu zwiększenia dokładności analizy badania przeprowadzono na zdjęciach o rozdzielczości 1280x1024 pix.

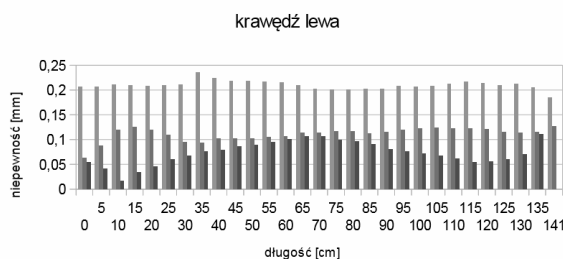
Oszacowano niepewność rozszerzoną pomiaru szerokości krawędzi narty przyjmując następujące założenia: niepewność Typu B znacznie mniejsza niż niepewność Typu A, współczynnik rozszerzenia  $k = 2$ , poziom ufności  $p = 0,95$ .

Rysunek 5 przedstawia rozkład niepewności pomiarowych szerokości krawędzi narty odpowiednio dla prawej krawędzi trzech badanych nart w funkcji ich długości.



Rys. 5. Wykres przedstawiający rozkład niepewności pomiarowych dla prawej krawędzi badanych nart

Natomiast rysunek 6 przedstawia rozkład niepewności pomiarowych odpowiednio dla lewej krawędzi tych samych trzech badanych nart w funkcji ich długości.



Rys. 6. Wykres przedstawiający rozkład niepewności pomiarowych dla lewej krawędzi badanych nart

Z prezentowanych wykresów widać że niepewność pomiaru szerokości krawędzi narty nie przekracza 0,25 mm. Wartość niepewności pomiarowej nie jest bardzo wysoka, ale należy pamiętać, że na pomiar krawędzi narty wpływ ma szereg zakłóceń takich jak: zmiana oświetlenia zewnętrznego, drgania kamer podczas przesuwu czy niejednostajna praca napędu głównego. Podczas budowy stanowiska pomiarowego starano się zminimalizować te wpływy m.in. poprzez zmniejszanie luzów w konstrukcji mechanicznej oraz poprzez dobór oświetlenia.

Jednakże w dalszej perspektywie rozwoju tego stanowiska niewątpliwie należałoby zaprojektować specjalnie przeznaczone do tego oświetlenie, w celu zmniejszenia wpływu zakłóceń pochodzących z innych źródeł światła.

## 5. WNIOSKI KOŃCOWE

W artykule przedstawiono zaprojektowany system wizyjny do pomiaru szerokości krawędzi narty. Jego budowa

bazuje na konstrukcji mechanicznej, w skład której wchodzi takie elementy jak: rama nośna z przygotowanym miejscem na laptopa, wózek napędzany silnikiem prądu stałego oraz systemu rozsuwania wózków z mikroskopami.

Istotnymi elementami tego stanowiska są także dwa mikroskopy umożliwiające akwizycję obrazu oraz komputer pełniący rolę kontrolera. Nieodłącznym elementem tego systemu wizyjnego jest program do analizy obrazu napisany w środowisku RoboRealm oraz aplikacja *wyniki\_pomiaru.pu* umożliwiająca wizualizację uzyskanych wyników pomiarowych.

Przeprowadzone testy nart (zarówno nowych jak i bardzo zużytych) jednoznacznie potwierdziły, że zaprojektowane stanowisko umożliwia jednoczesny pomiar szerokości obu krawędzi nart w zakresie pomiarowym od 0,2 mm do 2 mm w czasie nieprzekraczającym 10 min.

Użyteczność zaprojektowanego systemu pomiarowego potwierdza ergonomiczny i przejrzysty interfejs umożliwiający wizualizację.

## 6. BIBLIOGRAFIA

1. Chojnacki K.: Wybrane zagadnienia z historii narciarstwa, SITN, Kraków 2000.
2. Rak L.: Zarys ewolucji sprzętu narciarskiego, Prace Naukowe Akademii im. Jana Długosza, zeszyt 8, Częstochowa 2009, s. 11-21.
3. Klepacki B.: Historia narciarstwa, Biblioteczka Skryptów Instruktora Wykładowcy PZN, zeszyt 12, Kraków 1985.
4. Cieślowski K., Chudy-Hyski D.: Badania preferencji narciarzy jako podstawa kształtowania jakości oferty ośrodków narciarskich, Zeszyt Naukowy Katedry Turystyki, nr 29, Katowice 2006, s. 43-57.
5. Michalski K.: Projekt stanowiska do pomiaru grubości krawędzi narty, Praca magisterska, Opiekun dr inż. Anna Golijanek-Jędrzejczyk, Politechnika Gdańska, 2015.
6. <http://www.roborealm.com>, stan na dzień 08.08.2015 r.
7. Wilk J.: Techniki cyfrowego rozpoznawania obrazów, Wydawnictwo Stowarzyszenia Współpracy Polska – Wschód, Oddział Świętokrzyski, Kielce 2009.

## SKI EDGE WIDTH MEASUREMENT STAND

Regeneration of ski equipment provides not only an unforgettable experience on the slopes, but most of all safety. Servicing skis, besides lubrication, is mainly sharpening edges on special grinding machines. Proper execution of this service is sharpening of the edge while minimizing the amount of material collected from the ski, which is not a trivial task, since the typical width of the ski edge is of the order of 1.5 mm.

The paper will present a special stand (both hardware and software) designed for service of skis. The built measurement system can measure the width of the ski edge in the measuring range from 0.1 mm to 2 mm, providing an analysis of the width of the ski edge at approx. 80% of its length.

The paper presents the results of these tests confirm the correctness of operation and reasoning as planned.

**Keywords:** measurement system, vision system, image analysis.