

Geodezyjna kontrola bezpieczeństwa budynków w otoczeniu głębokich wykopów (cz. II)



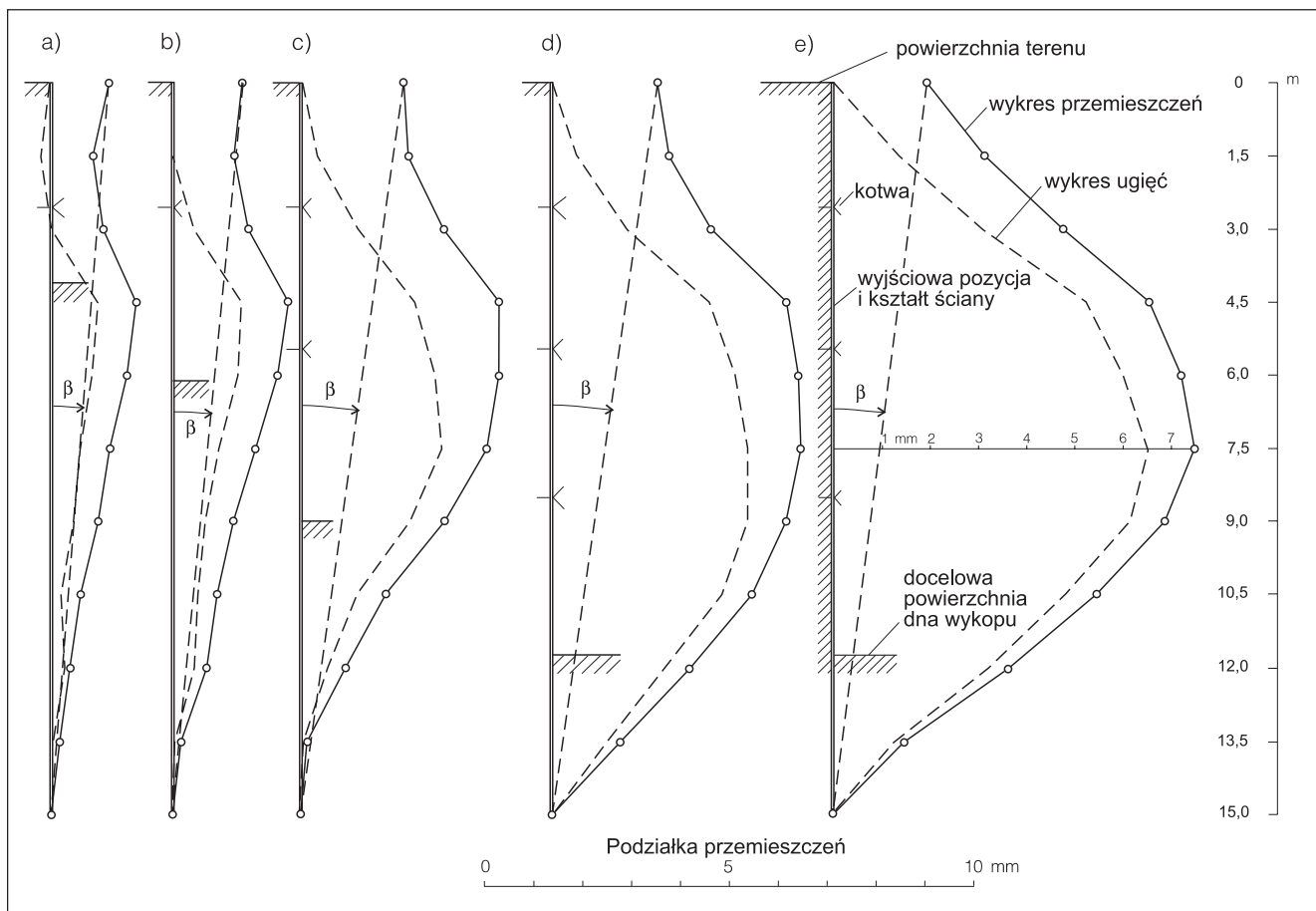
W GEODECIE 3/99 pisałem już o dokonaniach i doświadczeniach związanych z dążeniem do zwiększenia bezpieczeństwa budowy obiektów głęboko posadowionych i budynków znajdujących się w zasięgu ich szkodliwych wpływów. Ostatnio pojawiło się jednak wiele nowych danych o dalszym rozwoju tej metodyki i instrumentów, a także szerszym niż uprzednio zakresie jej stosowania.

W świetle doświadczeń z prowadzonych wdrożeń wynika wyraźnie, że sprawa bezpieczeństwa dotyczy nie tylko ścian głębokich wykopów i sąsiednich budynków, ale również innych obiektów. Wyrazem tego są pomiary inklinometryczne ścian dwu głębokich wykopów w bezpośrednim sąsiedztwie magistralnej linii kolejowej o bardzo dużym natężeniu ruchu (fot. 1.). Ewentualne nadmierne zmiany nachylenia i ugięcia tych ścian mogą w konsekwencji stanowić za-

grożenie nie tylko dla bezpieczeństwa wykonywania głębokich wykopów i wznoszenia budynków (z 3 i 4 kondygnacjami podziemnymi), ale również wywoływać wybożenia i osiadania torów kolejowych.

Na tych obiektach pomiary prowadzone są od momentu posadowienia ścian (tj. przed rozpoczęciem głębienia wykopu, wciągu około pół roku) do czasu wbudowania w ten wykop całej podziemnej części wznoszonego budynku (to jest do czasu rozparcia czy też podparcia ścian szczelinowych od strony wykopu przez stropy kondygnacji podziemnych równoważące parcie gruntu otaczającego te ściany od zewnątrz).

Ważnym aspektem tych pomiarów, mającym także charakter badawczy, jest zdobywanie informacji o rzeczywistym zachowaniu się ścian szczelinowych w miarę głębienia wykopu i stopniowego wzmacniania ścian kotwami tymczasowymi, których zadaniem jest przeciwdziałanie parciu otaczającego gruntu do czasu przejścia tej funkcji przez powstające stropy podziemnej części budowli. Dokładność pomiarów jest na tyle wysoka, że jesteśmy w stanie nie tylko sygnalizować występowanie granicznych, niebezpiecznych wartości przemieszczeń, zmian nachylenia i ugięć ścian, ale również opisać szczegółowo przebieg ich narastania w funkcji zmieniających się obciążeń związanych z głębieniem wykopu i kotwieniem ścian. Informacje te są istotne dla projektantów kolejnych obiektów, którzy mogą je wykorzystywać do oszczędniejszego projektowania ścian i zakotwień.



Rys. 1. Narastanie zmian nachylenia i ugięć ściany w miarę głębienia wykopu i kotwienia

Ilustracją graficzną opisu narastania zmian nachylenia i ugięć ściany w miarę głębienia wykopu i kotwienia jest rysunek 1, zawierający wykresy z wynikami pomiarów inklinometrycznych na jednym ze stanowisk. Na rysunku 1a pokazano wykres przemieszczeń względnych zmierzonych inklinometrem (cienka linia ciągła) po wykonaniu wykopu o głębokości 4 m. Odchylenie linii łączącej najniższy i najwyższy punkt wykresu od pionu (kąt β) oznacza zmianę nachylenia ściany, natomiast wykres wykonany cienką linią przerywaną obrazuje zmianę kształtu ściany w profilu pionowym (ugięcia).

Zakotwienie ściany na głębokości 2,5 m spowodowało jej ugięcie w górnej części zwrócone „od wykopu”, zaś odciążenie przez wykopaną ziemię spowodowało ugięcie niższej części ściany „do wykopu”, rozpoczynające się już nieco nad podstawą ściany, zarejestrowane na głębokości 13,5 m poniżej powierzchni terenu. Na rysunku 1b pokazane są wykresy odpowiadające zmianie obciążenia ściany spowodowanej pogłębieniem wykopu do 6 m, zaś na rysunku 1c – do 8,8 m i zakotwieniem jej również na niższym poziomie, tj. na głębokości 5,5 m. Wykresy na rysunku 1d odpowiadają dalszej zmianie obciążenia ściany spowodowanej wykonaniem wykopu o docelowej głębokości 11,7 m i dodatkowym zakotwieniem ściany na głębokości 8,5 m. W miarę pogłębienia wykopu zwiększało się wyraźnie ugięcie ściany, którego strzałka osiągnęła (rys. 1d) wartość 4 mm, zaś zmiana nachylenia ściany – $2 \text{ mm}/15 \text{ m} = 0,13 \text{ mm}/\text{m}$. Po pewnym czasie wykonano ponowny pomiar przy stanie obciążenia ściany odpowiadającym wykonaniu wykopu o docelowej głębokości (rys. 1e). Porównanie ich z wynikami na rysunku 1d pokazuje, że pomi-

mo tego samego obciążenia, nastąpiło zdecydowane zwiększenie ugięcia ściany, wyrażające się otrzymaniem strzałki o wartości 6,4 mm, natomiast nie nastąpiło powiększenie zmiany nachylenia.

W przypadku prowadzonych aktualnie pomiarów inklinometrycznych ściany oporowej, podtrzymującej zalesione wzgórze, którego część została usunięta w celu „wygospodarowania” terenu na budowę (fot. 2), mamy do czynienia ze znacznie bardziej rozciągniętym w czasie procesem pomiarowym. W tym przypadku pomiary inklinometryczne (fot. 3) dotyczą przemieszczeń, zmian nachylenia i ugięć ściany utworzonej przez pale wiercone (zakotwione nie tylko na czas budowy, ale również eksploatacji obiektu wznoszonego pod ich osłoną) i zapobiegają niekontrolowanemu zsunięciu się wzgórze na ten obiekt, informując o ewentualnej konieczności dodatkowego wzmocnienia zakotwień lub podejmowania innych środków zapobiegawczych.

Technika pomiarów inklinometrycznych połączonych z geodezyjnym wyznaczaniem przemieszczeń wylotów rur inklinometru w stosunku do nieruchomych punktów odniesienia może mieć zastosowanie również w wielu innych okolicznościach, jak np. do badania przemieszczeń i stanu bezpieczeństwa zapór wodnych i obwałowań osadników flotacyjnych [6], [7] czy też badania nabrzeży portowych [9].

Owerności prowadzenia pomiarów inklinometrycznych niech świadczy fakt, że na jednym z obiektów [4] nasze obserwacje wykazały nadmierne przemieszczenia, zmiany



Fot. 2. Pomiary inklinometryczne ściany oporowej podtrzymującej zalasione wzgórze, którego część została usunięta w celu „wygospodarowania” terenu na budowę

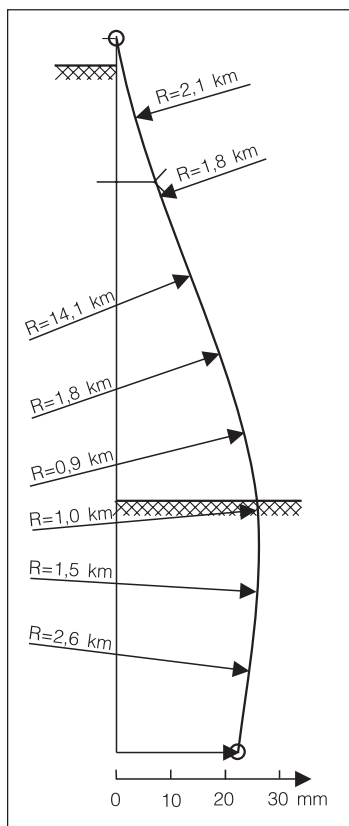
wierzchni przylegającej do otaczającego podłoża, rzędu 0,7 mm/m, co grozi powstawaniem mikrospekkań. Duża – wstosunku do wymagań PN [8] – stwierdzona pomiarem zmiana nachylenia może mieć istotny wpływ na nadmierne mimośrodowo obciążenia ściany w przypadku, gdy służy ona nie tylko jako osłona wykopu, ale również jako ściana nośna powstającego budynku.

Pomiary te prowadzone są aktualnie przy użyciu ulepszonej wersji inklinometru, tzw. modułowego inklinometru strunowego MIS, który stosowany jest w standardowych stalowych rurach o przekroju kwadratowym 100x100/3mm. Jest on bardziej odporny na uszkodzenia w trudnych na ogół warunkach pracy na placach budowy niż inklinometr IS [2], [5]. Dodatkowo wykorzystane do jego instalowania standardowe rury stalowe są znacznie tańsze od rur specjalnych, niezbędnych do inklinometru IS i inklinometrów zagranicznych [1], [10]. Doświadczenia zebrane przy około 150 pomiarach wykonanych dotychczas na dziewięciu stanowiskach na czterech

nachylenia i ugięcia ściany szczelinowej, których szybkie narastanie w trakcie głębienia wykopu zostało na czas zasygnalizowane. Spowodowało to natychmiastowe podjęcie przez projektanta i kierownictwo budowy środków przeciwdziałających awarii lub katastrofie. Obrazem graficznym zmian geometrycznych, którym w pewnej fazie prac uległa ściana w profilu inklinometrycznym, jest wykres (rys. 2). Na obiekcie tym stwierdziliśmy, że podstawa ściany szczelinowej na głębokości 14 m od powierzchni terenu (tj. około 5 m poniżej dna wykonanego wykopu) nieoczekiwanie przemieściła się pod wpływem parcia gruntu otaczającego wykop o 26 mm, ugięcie ściany osiągnęło krzywiznę charakteryzującą się bardzo małym promieniem (rzędu 900 m), zaś zmiana nachylenia ściany w części odsłoniętej osiągnęła 4 mm/m. Tak duże przemieszczenie podstawy ściany w głębi podłoża może świadczyć o nadmiernym jego rozluźnieniu (np. wskutek nawodnienia) i zmniejszeniu nośności, zaś duże stwierdzone ugięcie ściany może wywoływać w strefie rozciąganej (stycznej do wewnętrznej, odsłoniętej powierzchni) wydłużenie w stosunku do po-

Fot. 3. Pomiary inklinometryczne dotyczące przemieszczeń, zmian nachylenia i ugięć ściany utworzonej przez pale wiercone





Rys. 2. Zmiany geometryczne, którym w pewnej fazie prac uległa ściana w profilu inklinometrycznym

w nie ścian osłaniających i nośnych głęboko posadowionych budynków, a także masywnych korpusów budowli piętrzących i innych.

Powracając do tytułowego pytania: *Inklinometr czy pochyłomierz?* – myślę, że obydwa te instrumenty mają różne zadania i nie zachodzi potrzeba dochodzenia, który z nich stosować. Powstaje raczej pytanie o okoliczności i cele stosowania. Tezę tę ilustruje schematyczny rysunek 3, na którym oznaczono zarówno wyjściowy kształt i usytuowanie ściany, jak i inklinometryczny profil jej kształtu i położenia po przyłożeniu obciążeń. Zmianę nachylenia całej ściany wyraża kąt β odchylenia od pionu linii przerywanej, poprowadzonej od najwyższego do najniższego punktu profilu inklinometrycznego. Gdyby na górnej powierzchni ściany znajdowało się stanowisko pochyłomierza, to należy oczekiwać, że jego wskazania charakteryzowałyby zmiany nachylenia wierzchołka ściany, zbliżone do zmian nachylenia najwyższego odcinka profilu inklinometrycznego, które na schemacie oznaczono jako kąt α odchylenia od pionu pogrubionej linii przerywanej. Gdybyśmy zatem polegali tylko na wynikach pomiaru pochyłomierzem i zakładali, że ściana nie ulega odkształceniom (ugięciom), otrzymalibyśmy wynik sugerujący, że ściana pochylała się na zewnątrz wykopu o kąt α , gdy z pomiaru inklinometrem wynika, że pochylała się ona w kierunku wykopu o kąt β , a jednocześnie uległa ugięciu o charakterze uwypuklenia w kierunku wykopu. Równoczesne zastosowanie tych dwu instrumentów w tym samym profilu ściany umożliwia sprawdzenie, czy rzeczywiście zmiana nachylenia wyznaczona pochyłomierzem jest zgodna ze zmianą nachylenia najwyższego odcinka profilu inklinometrycznego i w jakim stop-

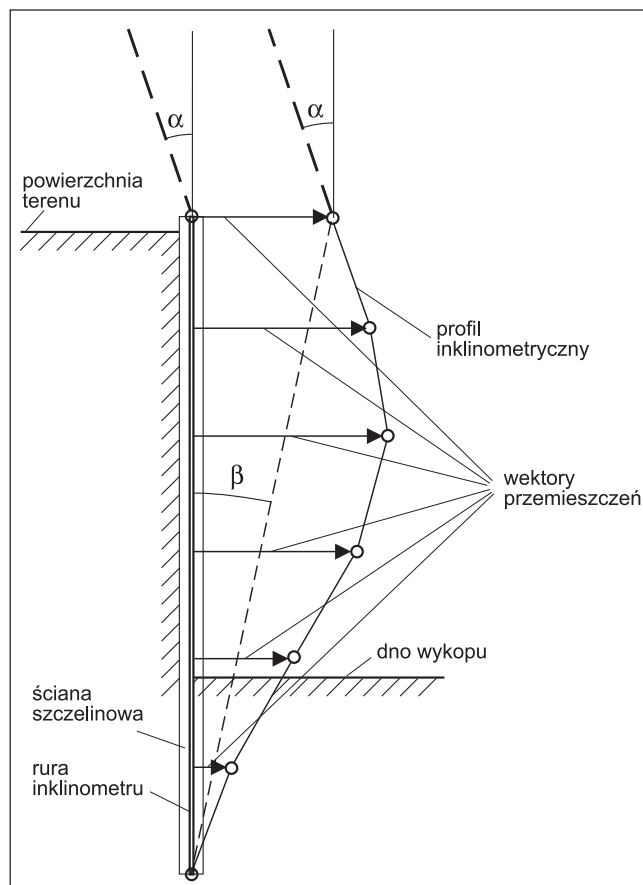
ni budowach o zróżnicowanych co do trudności warunkach, wykazują wysoką niezawodność i dokładność pomiarów, a także dużą szybkość informowania o zaobserwowanych zmianach nachylenia i ugięcia ścian. Strzałki ugięcia odcinków profilu inklinometrycznego wyznaczane są tym inklinometrem z błędem średnim rzędu 0,03 mm (przy cięciwie 3 m).

Pragnę tu wyraźnie podkreślić, że omawiany system inklinometryczny (MIS z rurami stalowymi) opracowany został do bezpośredniego badania zachowania się konstrukcji żelbetowych, w odróżnieniu od inklinometrów, których rury są osadzone w otworach wywierconych w podłożu gruntowym. Dzięki temu możliwe staje się badanie zachowania się nie tylko podłoża, ale również wbudowanych

ni zgodność ta zachodzi. Jest to więc sposób sprawdzenia, czy zmiana nachylenia najwyższego pionowego odcinka ściany o wysokości równej długości inklinometru jest zbliżona do zmiany nachylenia górnej powierzchni ściany, w której osadzone jest stanowisko pochyłomierza.

Zarówno pochyłomierz, jak i inklinometr mogą być stosowane do pomiarów zmian nachylenia różnych fragmentów budowli. Ważna jest jednak świadomość, że przy użyciu pochyłomierza wyznacza się jedynie „obroty – zmiany nachylenia” określonego miejsca (umownie punktu) konstrukcji w miejscu osadzenia stanowiska, zaś przy użyciu inklinometru wyznacza się „obroty” odcinka lub wieloboku utworzonego przez rurę inklinometryczną. O użyciu jednego z tych instrumentów decydują też względy organizacyjne i faza „wywołania” problemu pomiarów, bowiem często się zdarza, że o potrzebie geodezyjnego monitoringu przemieszczeń i deformacji zaczyna się myśleć na budowie zbyt późno, aby możliwe było zainstalowanie w ścianie szczelinowej rur inklinometru, i wówczas pozostaje możliwość zainstalowania w górnej powierzchni ściany jedynie stanowiska pochyłomierza.

Zebrałe dotychczas doświadczenia wyraźnie wskazują, że „czysto geodezyjny” monitoring przemieszczeń punktów osadzanych stopniowo na bocznych powierzchniach ścian szczelinowych, prowadzony przy użyciu tachimetru elektronicznego w trakcie głębienia wykopu, nie jest efektywny, bowiem wyma-



Rys. 3. Przy użyciu pochyłomierza wyznacza się jedynie „obroty – zmiany nachylenia” określonego miejsca (umownie punktu) konstrukcji w miejscu osadzenia stanowiska, zaś przy użyciu inklinometru wyznacza się „obroty” odcinka lub wieloboku utworzonego przez rurę inklinometryczną

ga bardzo uciążliwego i często niebezpiecznego instalowania znaków pomiarowych natychmiast po osiągnięciu wskazanych poziomów głębienia, napotyka na niemożliwe do usunięcia utrudnienia w postaci zasłonięcia części wizur przez niewybraną jeszcze ziemię czy przez maszyny budowlane. Dostarcza też wyniki przemieszczeń punktów niemożliwe do sprowadzenia do jednego czasu odniesienia, co ogromnie utrudnia interpretację wyników. Z tego powodu należy dążyć do monitoringu opartego na pomiarach inklinometrem od momentu zainstalowania ścian szczelinowych z rurami w profilach inklinometrycznych sięgających w głąb, do podstaw ścian, z jednoczesnym wyznaczaniem przy użyciu tachimetru elektronicznego przemieszczeń najwyższych punktów rur inklinometrycznych względem punktów stałego (nieruchomego) układu odniesienia. Wówczas możliwe staje się nie tylko wyznaczanie inklinometrem zmian nachylenia i ugięć ściany w profilach inklinometrycznych, ale również wyznaczanie całkowitych przemieszczeń punktów tych profili względem nieruchomego układu odniesienia. Wyznaczanie przemieszczeń wylotów rur inklinometrycznych jest wskazane zwłaszcza wtedy, gdy istnieją podejrzenia, że podstawa ściany szczelinowej (na głębokości kilku-nastu metrów w podłożu) również podlega przemieszczeniom. Do tego celu opracowany został system jednoznacznej centrowania: teodolitu, tachimetru elektronicznego, tarczy sygnalizacyjnej lub reflektora dalmierczego na górnej powierzchni rury inklinometru o przekroju kwadratowym [13]. System ten został sprawdzony z powodzeniem przy wyznaczaniu przemieszczeń wylotów rur w czasie prowadzonego monitoringu.

Dr hab. inż. Jerzy Janusz jest pracownikiem Instytutu Geodezji i Kartografii

Literatura:

1. **Glotz F., Haberland H J.**, Borloch-Modulsonde Entwicklung und Einsatz Symposium „Messen in Geotechnik” Institut für Grundbau und Bodenmechanik Technische Universität Braunschweig, 1998;
2. **Janusz J.**, *Geodezyjna kontrola bezpieczeństwa budynków w otoczeniu głębokich wykopów. Inklinometr czy pochylomierz?*, GEODETA 3/1999;
3. **Janusz J.**, *Inklinometr ciągnowy*, „Inżynieria i Budownictwo” 7-8/1999;
4. **Janusz J.**, *Wyniki pomiarów inklinometrycznych ściany szczelinowej*, „Inżynieria i Budownictwo” 6/2000;
5. **Janusz J., Janusz W., Kołodziejczyk M., Wasilewski J.**, *Inklinometr IS do pomiaru ugięć i zmian nachylenia ścian szczelinowych*, Prace IGiK z. 98/1999;
6. **Janusz J., Janusz W.**, *Możliwości wykorzystania inklinometru ciągnowego w badaniach stanu bezpieczeństwa budowli*, Prace IGiK z. 100/2000;
7. **Krywult J., Mateja J.**; *Kontrola stateczności budowli przy użyciu inklinometru*, „Inżynieria i Budownictwo” 3/2000;
8. **PN-81/B-03020.** *Grunty budowlane. Posadowienie bezpośrednie budowli. Obliczenia statyczne i projektowanie.*
9. **Siemińska-Lewandowska A.**, *Zastosowanie MES do analizy przemieszczeń kotwionej ściany szczelinowej nabrzeża portowego*, „Inżynieria i Budownictwo” 7/2000-06-22
10. **SIS GEO.** *Inclinometers-Instruction manual*;
11. **SIS GEO.** *Prospekt*, Mediolan 1997;
12. *System geodezyjnego monitoringu przemieszczeń i deformacji ścian szczelinowych i obiektów w strefie wpływu głębokich wykopów*, Nagroda I stopnia Ministrów Spraw Wewnętrznych i Administracji oraz Rozwoju Regionalnego i Budownictwa w roku 2000 w konkursie na wybitne osiągnięcia w dziedzinach: Architektury, Budownictwa oraz Geodezji i Kartografii, dla zespołu z Instytutu Geodezji i Kartografii;
13. **Janusz J.**, *Sposób i urządzenie do centrowania i stabilizowania instrumentów geodezyjnych na wylotach rur inklinometrycznych*, Zgłoszenie patentowe.

**Consistent Image Processing
by Intelligent Software**

Zaczął się XXI wiek...
Czy w Twojej firmie też?

**NAJNOWOCZESNIEJSZE OPROGRAMOWANIE
DO KALIBRACJI I WEKTORYZACJI
KOLOROWYCH RASTRÓW**

AGRAF
GRAFIKA & SYSTEMY EDM

90-030 Łódź, ul. Nowa 29/31
tel. (42) 674 10 43, fax (42) 676 27 13
www.agraf.com.pl e-mail: agraf@agraf.com.pl