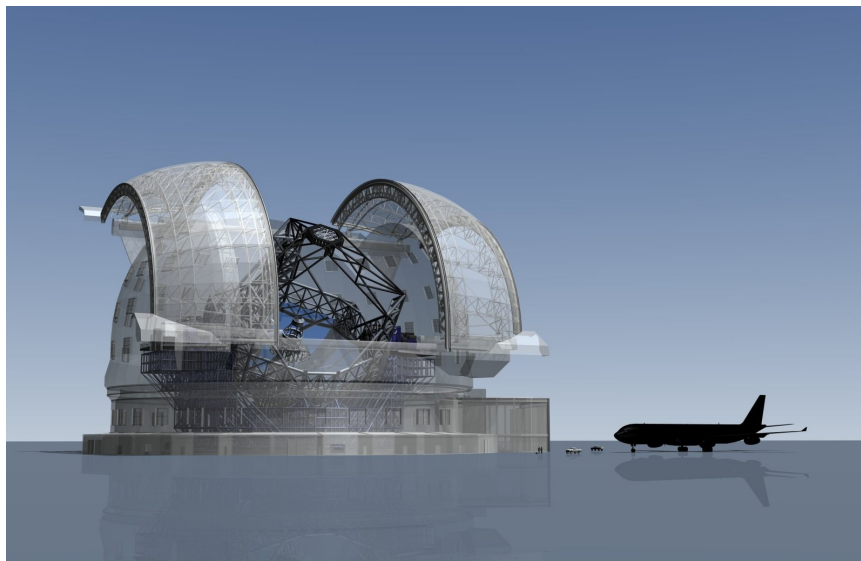


## ELT – przyszłość astronomii optycznej ?

Astronomowie, którzy prowadzą obserwacje lub pracują z danymi obserwacyjnymi często stwierdzają, że przydałaby się większa rozdzielczość lub większy stosunek sygnału do szumu. W związku z powyższym planując i budując kolejne instrumenty astrofizyczne inżynierowie starają się sprostać tym wymaganiom, jednak mimo zaawansowanych technik, nie wszystko jest możliwe do osiągnięcia i zawsze pozostaje pewien niedosyt. Z drugiej strony, to dzięki temu powstają kolejne plany i idee mające na celu poprawienie jakości uzyskiwanych danych astrofizycznych. W przypadku teleskopów optycznych, do których w tym artykule się ograniczę, największa średnica lustra głównego jaką udało się uzyskać to około 10m, jednak ambicje astronomów są znacznie większe. Obecnie jest już kilka projektów budowy tzw. ekstremalnie wielkich teleskopów, z czego jeden ma największe szanse na realizację. Jest to E-ELT - Europejski Ekstremalnie Wielki Teleskop (ang. *The European Extremely Large Telescope*), którego średnica ma osiągnąć trudno wyobrażalne rozmiary jak na teleskop do obserwacji optycznych – aż 42 metry. W ten sposób będzie to największy na świecie teleskop do obserwacji w widzialnym i podczerwonym zakresie promieniowania elektromagnetycznego.



**Rys.1.** Porównanie rozmiarów Europejskiego Ekstremalnie Wielkiego Teleskopu (E-ELT) z pasażerskim samolotem dalekiego zasięgu Airbus A340 (wszystkie prezentowane w artykule rysunki są wizjami artystycznymi lub modelami prezentującymi jak będą wyglądać nowej generacji teleskopy) (źródło: ESO, <http://www.eso.org/sci/facilities/eelt/>).

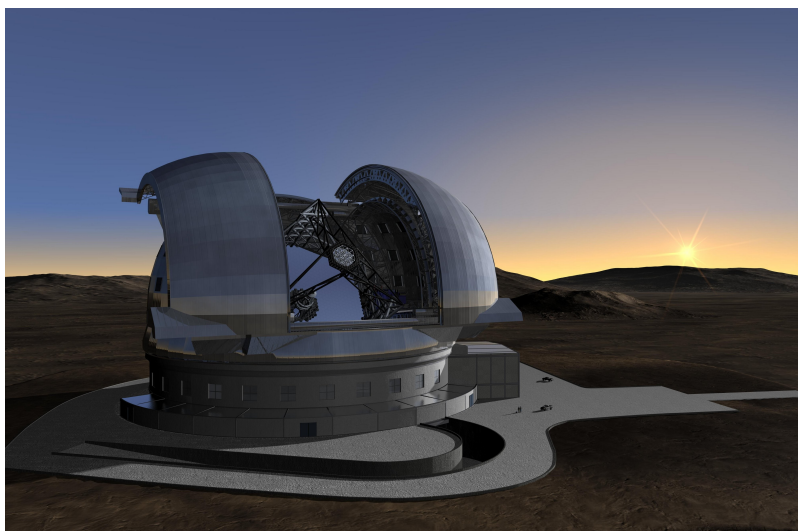
### Idea ekstremalnie wielkich teleskopów

Kilka lat temu zrodziła się idea budowy nowej generacji teleskopów optycznych. Obecnie mamy do dyspozycji kilka ogromnych instrumentów o średnicach około 6 – 10m (patrz „Urania-PA” 1, 2001). Jednak aby sięgnąć do obiektów dalszych (m.in. związanych z początkiem Wszechświata) i słabszych (jak planety pozasłoneczne) potrzeba większych teleskopów. Stąd pomysł skonstruowania instrumentu mającego średnicę o wymiarze około 50 – 100 m. Początkowo powstało wiele projektów, jednak do dziś przetrwały tylko 3 (część połączyła się tworząc silniejsze i większe grupy inżynierów i astronomów, a reszta upadła z powodu braku wystarczających środków finansowych). Jednak żaden z nich nie osiągnie średnicy 100m, projektowane są teleskopy o rozmiarach 25m, 30m i 42m. Współczesne projekty ekstremalnie wielkich teleskopów (tab. 2) są w różnym stadium zaawansowania. Rok 2018, dla każdego z nich, podawany jest jako początek zbierania danych obserwacyjnych. Czy wszystkie powstaną zobaczymy za 10 lat. Osobiście sędzę, że największe szanse na realizację ma E-ELT, o którym kilka słów poniżej.

## E-ELT

E-ELT, czyli Europejski Ekstremalnie Wielki Teleskop, to nazwa projektu Europejskiego Obserwatorium Południowego ESO (ang. *The European Southern Observatory*), który ma celu zbudowanie „największych na świecie oczu do obserwacji nieba”. E-ELT będzie teleskopem do obserwacji w widzialnym i podczerwonym zakresie promieniowania elektromagnetycznego, o średnicy 42 m, zbudowanym w systemie Nasmytha (jak np. teleskopy VLT, ang. *Very Large Telescope*, w Chile). Ma mieć wysokość 60 m i ważyć prawie 5000 ton (jako całość). Kupuła, w której będzie się znajdował, będzie miała rozmiar porównywalny ze stadionem do piłki nożnej.

Z oczywistych względów, otrzymanie jednolitego lustra o średnicy 42m nie jest brane pod uwagę. Będzie się ono składało z 906 sześciokątnych elementów, każdy o szerokości 1.4m. Planuje się, że teleskop będzie zbierał 15 razy więcej światła niż obecne największe teleskopy pracujące w zakresie optycznym. A czułość będzie miał ponad sto razy większą. Do zminimalizowania wpływu turbulencji w ziemskiej atmosferze będzie zastosowana zaawansowana optyka adaptacyjna, dzięki której E-ELT będzie w stanie uzyskać obrazy o bardzo wysokiej jakości (znacznie lepszej niż Kosmiczny Teleskop Hubble'a).



Rys.2. Europejski Ekstremalnie Wielki Teleskop (E-ELT). (źródło: ESO)

Żeby w pełni wykorzystać jakość danych obserwacyjnych, które uzyskamy za pomocą wielkiego teleskopu, bardzo ważną kwestią jest wybór odpowiedniej lokalizacji. Problem wcale nie jest trywialny i mimo, iż często się wydaje, że pustynia w Chile jest do tego najlepsza (to właśnie tam znajdują się instrumenty ESO), nie jest to wcale takie oczywiste. Aby podjąć ostateczną decyzję należy wziąć pod uwagę rozmaite czynniki. Na pierwszą myśl nasuwa się „jakość nieba”, czyli parametry atmosferyczne (ilość bezchmurnych nocy, turbulencje atmosferyczne, wilgotność powietrza, temperatury) oraz związana z nimi wysokość *npm*. Ważne są także tzw. aspekty konstrukcyjne, czyli teren pod budowę E-ELT powinien być płaską powierzchnią o polu porównywalnym z rozmiarem kilku boisk do piłki nożnej. Na miejsce, w którym zostanie zbudowany teleskop będzie trzeba dostarczyć ponad 1500 różnych kontenerów z całego świata, a budowa będzie trwała kilka lat, stąd potrzeba takiej ogromnej przestrzeni. Nie bez znaczenia pozostają także czynniki logistyczne jak bliskość i dostępność wody pitnej, dróg, elektrowni o dużej mocy itp. Kolejnym kryterium jest bliskie „sąsiedztwo” innych instrumentów (istniejących oraz przyszłych; jak *VLT/VLTI*, *ALMA* („Urania-PA” 1, 2009), *SKA* („Urania-PA” 5, 2008)), z którymi E-ELT mogłyby połączyć wspólne projekty naukowe, a z drugiej strony byłaby to możliwość do wykorzystania ich szeroko rozumianej infrastruktury. Obecnie rozważane lokalizacje to oczywiście Chile, a także Argentyna i La Palma. Ostateczna decyzja o usytuowaniu wielkiego teleskopu zostanie podjęta pod koniec 2009 roku.

W tej chwili planuje się skonstruowanie dla E-ELT ośmiu instrumentów naukowych. Informacje na temat ich podstawowych parametrów zebrane są w tab. 1. Na tym etapie projektowania całego przedsięwzięcia bardziej szczegółowy ich opis nie ma sensu, gdyż jeszcze wiele może się zmienić.

**Tab. 1.** Instrumenty naukowe projektowane dla E-ELT

nazwa	rodzaj instrumentu	zakres widmowy	rozdzielczość widmowa	pole widzenia
<i>CODEX</i>	Spektrograf wysokiej rozdzielczości na zakres widzialny	3 700 – 6 900 Å	$R > 120\,000 \sim 32\,000$	1"
<i>EAGLE</i>	Spektrograf o dużym polu widzenia na zakres bliskiej podczerwieni	8 000 – 25 000 Å	4 000 – 10 000	5' (do 10')
<i>EPICS</i>	Spektrograf z ekstremalną optyką adaptacyjną do obrazowania planet	6 000 – 18 000 Å	$R > 50$	2" (do 4")
<i>HARMONI</i>	Szerokopasmowy spektrograf na pojedyncze pole	5 000 – 25 000 Å	~ 5 000, 10 000, 20 000	10" x 5"
<i>METIS</i>	Spektrograf z optyką adaptacyjną na zakres średniej podczerwieni	30 000 – 130 000 Å	100 – 100 000	30"
<i>MICADO</i>	Kamera na zakres bliskiej podczerwieni	8 000 – 24 000 Å	–	30"
<i>OPTIMOS</i>	Spektrograf o dużym polu widzenia na zakres widzialny	3 700 – 14 000 Å	5 000 - 50 000	5' (do 10')
<i>SIMPLE</i>	Spektrograf wysokiej rozdzielczości na zakres bliskiej podczerwieni	8 000 – 25 000 Å	100 000 (do 150 000)	Pojedyncze obiekty (szczelina max 4")

### Inne olbrzymy

Kilka lat temu, gdy narodziła się idea zbudowania ekstremalnie wielkiego teleskopu, powstało wiele projektów związanych z różnymi instytucjami na całym świecie. Dziś możemy mówić już tylko o trzech; Europejskim Ekstremalnie Wielkim Teleskopie (E-ELT), któremu to głównie poświęcony jest ten artykuł, Trzydziesto – Metrowym Teleskopie (TMT) i Wielkim Teleskopie Magellana (GMT). Wszystkie projekty są bardzo skomplikowane technologicznie i korzystają z zaawansowanych metod np. optyki adaptacyjnej. Instrumenty, które mają powstać będą charakteryzowały się wyjątkową precyzją, a dane obserwacyjne, które dzięki nim uzyskamy, będą miały nieznaną dotychczas jakość, by w ten sposób przynieść przełomowe odkrycia w wielu dziedzinach astronomii.

### TMT

Trzydziesto – Metrowy Teleskop (ang. *Thirty Meter Telescope*), jak nazwa mówi, ma być ekstremalnie wielkim teleskopem o średnicy 30m (lustro główne będzie się składać z 492 sześciokątnych elementów, każdy o boku 1.44 m). W 2003 roku trzy instytucje (*The University of California UC*, *The California Institute of Technology Caltech* i *The Association of Canadian Universities for Research in Astronomy ACURA*) zapoczątkowały program TMT. W 2008 roku do projektu amerykańsko – kanadyjskiego dołączyła Japonia (*The National Optical Astronomy Observatory of Japan NAOJ*). Plan zbudowania TMT powstał w wyniku połączenia się trzech projektów ekstremalnie wielkich teleskopów: *CELT* (Kalifornijski Ekstremalnie Wielki Teleskop;

zainicjowany przez Caltech i UC), *VOLT* (Bardzo Wielki Optyczny Teleskop; ACURA) oraz *GSMT* (Ogromny Teleskop z Segmentowym Lustrem; NOAO i Obserwatorium Gemini). Projektowanie i budowa TMT ma być finansowana przez instytucje wchodzące w skład projektu, a także w dużej mierze przez prywatne fundacje (co jest dość powszechne w Ameryce) np. *Fundacja Gordona i Betty Moore*.

TMT będzie prowadził obserwacje w szerokim zakresie długości fal, od 320 nm w ultrafiolecie do 30 $\mu$ m w podczerwieni. W ten sposób stanie się podstawowym narzędziem, które pomoże odpowiedzieć na ważne pytania w wielu dziedzinach astronomii.

Inżynierowie projektujący TMT sugerują się budową teleskopu Keck. Keck I i Keck II to dwa bliźniacze 10 – metrowe teleskopy znajdujące się na Hawajach. Ich zwierciadła główne składają się z 36 sześciokątnych segmentów. Lustro TMT, a także kopuła, ma przypominać te u 10 – metrowego sąsiada na Hawajach (TMT także zostanie zbudowany w Obserwatorium Mauna Kea). Instrumenty naukowe, w które zostanie wyposażony to różnego rodzaju spektrometry (niskiej i wysokiej, maks.  $R = 100\,000$ , rozdzielczości) operujące w zakresie optycznym i podczerwonym.

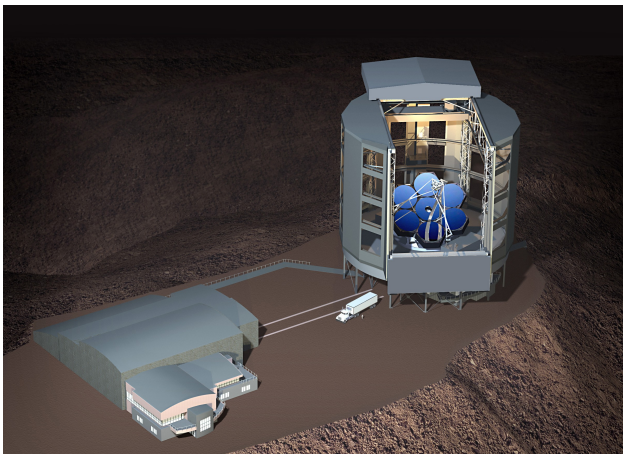
## GMT

Wielki Teleskop Magellana (ang. *Giant Magellan Telescope*) jest najmniejszym z tej trójki teleskopów. Oficjalnie się mówi, że będzie instrumentem o średnicy 25m, jednak praktycznie będzie się składał z siedmiu jednolitych lusterek (sześć pozaosiowych i jedno centralnie usytuowane), każde o średnicy 8.4m, co daje powierzchnię zbierającą o średnicy 21.4m i rozdzielczość jak lustra o średnicy 24.5m. Podobnie jak w przypadku TMT, dla GMT również podjęto już decyzję o lokalizacji teleskopu; będzie to Las Campanas w Chile. Teleskop będzie w stanie obserwować w zakresie widzialnym oraz bliskiej i średniej podczerwieni.

W projekcie GMT uczestniczą głównie instytucje amerykańskie (*Carnegie Institution of Washington, The University of Texas at Austin, Harvard University, Smithsonian Astrophysical Observatory, University of Arizona, Texas A&M University*), australijskie (*The Australian National University, Astronomy Australia Ltd.*), a także niedawno dołączyła Korea Południowa (*Korea Astronomy and Space Science Institute*).

Nazwa GMT przypomina, iż ma być on większym bratem teleskopu Magellana (podobnie można powiedzieć o TMT i Kecku). Teleskopy Magellana (tzw. Baade i Clay) to również bliźniaki, każdy ma jednolite lustro o średnicy 6.5m, a znajdują się właśnie w Obserwatorium Las Campanas w Chile.

Podstawowe informacje o trzech gigantach zebrane są w tab. 2, a artystyczne wizje teleskopów przedstawiają rys. 3 i 4.



Rys.3. Wielki Teleskop Magellana (źródło: [www.gmto.org](http://www.gmto.org))



Rys. 4. Trzydziesto - Metrowy Teleskop (źródło: [www.tmt.org](http://www.tmt.org))

**Tab. 2.** Podstawowe informacje na temat trzech głównych projektów ekstremalnie wielkich teleskopów.

parametr	E-ELT	TMT	GMT
nazwa teleskopu	<i>European – Extremely Large Telescope</i> (Europejski Ekstremalnie Wielki Teleskop)	<i>Thirty Meter Telescope</i> (Trzydziesto - Metrowy Teleskop)	<i>Giant Magellan Telescope</i> (Wielki Teleskop Magellana)
średnica	42 m	30 m	24.5 m
lustro główne	906 elementów sześciokątnych (każdy o boku 1.4 m)	492 elementy sześciokątne (każdy o boku 1.44 m)	7 jednolitych luster o średnicy 8.4 m
kto buduje	Europa	USA + Kanada + Japonia	USA + Australia + Korea Południowa
pole widzenia	10'	15' (maks. 20' ale winietowe)	20' – 30'
lokalizacja	Chile, Argentyna lub La Palma	Maunakea (Hawaje) <sup>1</sup>	Las Campanas (Chile)
zakres widmowy	3 700 – 130 000 Å	3 100 – 280 000 Å	3 000 – 350 000 Å

<sup>1</sup> „Maunakea”, jako nazwa własna w tradycyjnym języku hawajskim, jest jednym słowem. „Mauna Kea” dosłownie oznacza *białą górę*. Jest też nazwą jednego ze szczytów na Hawajach. Jednak pisana w dwóch słowach jest tylko w odniesieniu do nazw własnych typu „Mauna Kea Science Reserve”.

### Cele naukowe

Projekty naukowe, które mają być realizowane przez ekstremalnie wielkie teleskopy, dotyczą wielu zagadnień astronomicznych; od planet Układu Słonecznego do pozasłonecznych, od pobliskich galaktyk do najdalszych obserwowalnych obiektów znajdujących się na krańcach widzialnego Wszechświata, czy od fundamentalnej fizyki po kosmologię. Co więcej, programy naukowe są dobierane także pod kątem przyszłej współpracy z innymi instrumentami (w marcu br. odbyła się konferencja, podczas której rozważano o wspólnych projektach dla E-ELT i *ALMA*, a dwa lata wcześniej podobne spotkanie dotyczyło *VLT*, *JWST* i E-ELT), aby poprzez pokrycie w szerokim zakresie widma elektromagnetycznego uzyskać bardziej szczegółowe informacje odnośnie konkretnych obiektów. Tematyka zadań dla TMT, GMT oraz E-ELT jest bardzo zbliżona, dlatego też scharakteryzuję tylko podstawowe problemy astrofizyczne stawiane przed tym ostatnim teleskopem.

### Planety pozasłoneczne

Głównym celem naukowym E-ELT ma być, bardzo modna obecnie, tematyka związana z pozasłonecznymi układami planetarnymi. Wielkie lustro ma pomóc odkryć, na podstawie pomiarów prędkości radialnych, planety o masach zbliżonych do masy Ziemi, a także uzyskać bezpośrednie obrazy planet olbrzymów, a nawet z możliwością scharakteryzowania ich atmosfer. Teleskop będzie w stanie mierzyć promieniowanie gwiazdy macierzystej odbite od planet olbrzymów (podobnych do Jowisza czy Neptuna) by na tej podstawie, za pomocą spektroskopii niskiej rozdzielczości, zbadać ich atmosfery. Umożliwi także przestudiowanie formowania się układów planetarnych z dysków protoplanetarnych znajdujących się dookoła wielu pobliskich, bardzo młodych gwiazd. Natomiast obserwacje planet olbrzymów w młodych gromadach i obszarach powstawania gwiazd, pozwolą prześledzić ich ewolucję. W ten sposób E-ELT ma pomóc odpowiedzieć na podstawowe pytania dotyczące formowania się planet i ich ewolucji.

### Populacje gwiazd

Ekstremalnie Wielki Teleskop daje możliwość odtworzenia historii powstania i ewolucji gwiazdowych populacji na podstawie obserwacji znacznej próbki galaktyk w pobliskim Wszechświecie. Do studiowania populacji gwiazdowych potrzebna jest duża rozdzielczość i pomiary pojedynczych gwiazd w poszczególnych galaktykach; dotychczas takie badania ograniczały się jedynie do Drogi Mlecznej i jej najbliższego sąsiedztwa. Dzięki dużej powierzchni zbierającej fotony, E-ELT umożliwi wykonanie dokładnej fotometrii i spektroskopii wysokiej rozdzielczości populacji gwiazd w znacznie bardziej reprezentatywnej próbce galaktyk, a nawet w najbliższych dużych galaktykach eliptycznych. W ten sposób poznamy szczegółowe informacje dotyczące formowania się gwiazd, wzbogacania ich w ciężkie pierwiastki, a także kinematycznej ewolucji pobliskich galaktyk.

### Fizyka galaktyk na dużym z

E-ELT będzie w stanie obserwować także bardzo odległe obiekty (o dużym przesunięciu ku czerwieni z). Jednym z oczekiwań stawianych przed E-ELT jest fizyczne zrozumienie w jaki sposób powstała materia barionowa w galaktyce, gdyż nasza wiedza na tym polu jest ciągle fragmentaryczna. Wielki teleskop ma wykonać z wysoką rozdzielczością przestrzenną spektroskopowe przeglądy setek masywnych galaktyk. W ten sposób uzyskamy szczegółowe informacje o masach gwiazd w nich zawartych, ich wieku, metaliczności oraz tempie powstawania gwiazd i warunkach dynamicznych. Dotychczas takie pomiary ograniczały się do galaktyk o małym z, E-ELT pozwoli sięgnąć znacznie dalej. Będzie można lepiej zrozumieć wczesne stadia formowania się galaktyk, a także przeanalizować ich ewolucję.

### Kosmologia i podstawowa fizyka

Odkrycie, że przyspieszenie ekspansji Wszechświata może być powodowane przez pewne formy ciemnej energii, jest zapewne jedną z ważniejszych zagadek naukowych na przełomie ostatnich dekad. Ekstremalnie Wielki Teleskop ma pomóc nam wyjaśnić naturę ciemnej energii poprzez odkrycie i obserwacje odległych supernowych typu Ia. Obiekty te są znakomitym wskaźnikiem odległości, a ich obserwacje mają ułatwić poznanie historii rozszerzania się Wszechświata. Poza tym nowy teleskop ma sprawdzić czy podstawowe stałe fizyczne (np. stała struktury subtelnej czy stosunek masy protonu do elektronu) zmieniają się w czasie i poszukać ich ewentualnych rozbieżności.

\* \* \*

Projekt E-ELT pomału przechodzi pozytywnie przez wszystkie fazy projektowania. Ostateczna decyzja o budowie zostanie podjęta pod koniec 2010 roku, a obserwacje miałyby się rozpocząć w 2018r. Podobnie jak ALMA w zakresie długofalowym, E-ELT w zakresie VIS-NIR będzie instrumentem ESO świadczącym o prestiżu organizacji i możliwościach technicznych. E-ELT będzie najbardziej zaawansowanym ziemskim teleskopem optycznym i jak w przypadku większości nowych instrumentów, planuje się iż przyniesie przełomowe odkrycia. Choć 42 – metrowa średnica wywołuje obecnie niedowierzanie, pamiętajmy, iż kiedyś trudny do wyobrażenia był teleskop 8 – metrowy. Europejski Ekstremalnie Wielki Teleskop jest na dobrej drodze do powstania. Czy pierwsze światło zacznie rejestrować za 10 lat, zobaczymy... Większość planowanych instrumentów astrofizycznych rozpoczyna pracę z opóźnieniem w stosunku do przewidywanej daty. Pozostaje nam czekać i mieć nadzieje, że się uda!