

## Autoreferat

### Spis treści

1. Imię i Nazwisko.....	2
2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe/artystyczne.....	2
3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych/artystycznych.....	2
4. Wskazanie osiągnięcia.....	2
4a) Tytuł osiągnięcia naukowego/artystycznego.....	2
4b) (autor/autorzy, tytuł/tytuły publikacji, rok wydania, nazwa wydawnictwa, recenzenci wydawniczy).....	2
4c) Omówienie celu naukowego/artystycznego .....	4
Projekt Kepler.....	4
Konsorcjum asterosejsmiczne Keplera „KASC”.....	7
Projekt ASK.....	8
Szczegółowe omówienie wyników prac wchodzących w skład rozprawy habilitacyjnej.....	12
Wyznaczanie parametrów atmosferycznych gwiazd z pola Keplera.....	12
Gromady otwarte w polu Keplera.....	17
Rzutowane równikowe prędkości rotacji gwiazd w polu Keplera.....	19
Prędkości radialne gwiazd w polu Keplera.....	20
Ekstynkcja międzygwiazdowa w polu Keplera.....	20
Aktualnie wykonywane zadania i przyszłe plany badawcze:.....	21
Podsumowanie.....	22
Odnośniki do literatury.....	24
5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo - badawczych (artystycznych).....	28

1. Imię i Nazwisko: **Joanna Molenda-Żakowicz**

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe/artystyczne – z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej:

- **Magister astronomii nadany przez Wydział Matematyki, Fizyki i Chemii Uniwersytetu Wrocławskiego, Wrocław, 14 sierpnia 1997 r., tytuł pracy magisterskiej: „Wyznaczanie przyspieszeń grawitacyjnych gwiazd typu B”, praca napisana pod kierunkiem prof. dr hab. Mikołaja Jerzykiewicza.**
- **Doktor nauk fizycznych w dyscyplinie astronomia nadany przez Wydział Fizyki i Astronomii Uniwersytetu Wrocławskiego, Wrocław, 21 stycznia 2003 r., tytuł pracy doktorskiej „Badanie gwiazd zmiennych pulsujących typu B na podstawie obserwacji Hipparcosa”, praca napisana pod kierunkiem prof. dr hab. Mikołaja Jerzykiewicza.**

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych/artystycznych:

**od 17 lutego 2003 do teraz: Uniwersytet Wrocławski, pl. Uniwersytecki 1, 50-137, Wrocław**

4. Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 ze zm.):

4a) Tytuł osiągnięcia naukowego/artystycznego:

#### **BADANIE CELÓW ASTEROSEJSMICZNYCH SATELITY KEPLER.**

4b) (autor/autorzy, tytuł/tytuły publikacji, rok wydania, nazwa wydawnictwa, recenzenci wydawniczy)

- (1) **Molenda-Żakowicz J.**, Frasca A., Latham D. W. i Jerzykiewicz M., 2007, „*Spectroscopic Study of Kepler Asteroseismic Targets*”, Acta Astronomica, 57, 301 (H1), mój udział: 70%
- (2) **Molenda-Żakowicz J.**, Frasca A. i Latham D. W., 2008, „*Spectroscopic Study of Candidates for Kepler Asteroseismic Targets – Solar-Like Stars*”, Acta Astronomica, 58, 419 (H2), mój udział: 80%
- (3) **Molenda-Żakowicz J.**, Kopacki G., Stęślicki M. i Narwid A., 2009, „*Photometric Study of Variable Stars in the Open Cluster NGC 6866*”, Acta Astronomica, 59, 193 (H3), mój udział: 60%
- (4) **Molenda-Żakowicz J.**, Jerzykiewicz M. i Frasca A., 2009, „*Photometric Study of Kepler Asteroseismic Targets*”, Acta Astronomica, 59, 213 (H4), mój udział: 70%

- (5) Catanzaro G., Frasca A., **Molenda-Żakowicz J.** i Marilli E., 2010, „*Characterization of Kepler early-type targets*”, *Astronomy & Astrophysics*, 517, 3 (**H5**), mój udział: 40%
- (6) **Molenda-Żakowicz J.**, Bruntt H., Sousa S., Frasca A., Biazzo K., Huber D., Ireland M., Bedding T., Stello D., Uytterhoeven K., Dreizler S., De Cat P., Briquet M., Catanzaro G., Karoff C., Frandsen S., Spezzi L. i Catala C., 2010, „*Asteroseismology of solar-type stars with Kepler: III. Ground-based data*”, *Astronomische Nachrichten*, 331, 981 (**H6**), mój udział: 50%
- (7) **Molenda-Żakowicz J.**, Latham D. W., Catanzaro G., Frasca A., Quinn S. N., 2011, „*Characterizing Kepler asteroseismic targets*”, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 412, 1210, (**H7**), mój udział: 70%
- (8) Pinsonneault M. H., An D., **Molenda-Żakowicz J.**, Chaplin W. J., Metcalfe T. S., Bruntt H., 2012, „*A Revised Effective Temperature Scale for the Kepler Input Catalog*”, *Astrophysical Journal Supplement*, 199, 30, (**H8**), mój udział: 25%
- (9) **Molenda-Żakowicz J.**, Sousa S. G., Frasca A., Uytterhoeven K., Briquet M., Van Winckel H., Drobek D., Niemczura E., Lampens P., Lykke J., Bloemen S., Gameiro, J. F., Jean C., Volpi D., Gorlova N., Mortier A., Tsantaki M., Raskin G., 2013, „*Atmospheric parameters of 169 F-, G-, K- and M-type stars in the Kepler field*”, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 434, 1422 (**H9**), mój udział: 70%
- (10) **Molenda-Żakowicz J.**, Brogaard K., Niemczura E., Bergemann M., Frasca A., Arentoft T., Grundahl F., 2014, „*Spectroscopic study of the open cluster NGC 6811*”, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 445, 2446 (**H10**), mój udział: 70%
- (11) De Cat P., Fu J. N., Ren A. B., Yang X. H., Shi J. R., Luo A. L., Yang M., Wang J. L., Zhang H. T., Shi H. M., Zhang W., Dong S., Catanzaro G., Corbally C. J., Frasca A., Gray R. O., **Molenda-Żakowicz J.**, Uytterhoeven K., Briquet M., Bruntt H., Frandsen S., Kiss L., Kurtz D. W., Marconi M., Niemczura E., Østensen R. H., Ripepi V., Smalley B., Southworth J., Szabó R., Telting J. H., Karoff C., Silva Aguirre V., Wu Y., Hou Y. H., Jin G., Zhou X. L., 2015, „*Lamost Observations in the Kepler Field. I. Database of Low-resolution Spectra*”, *Astrophysical Journal Supplement Series*, 220, 19 (**H11**), mój udział: 30%
- (12) Frasca A., **Molenda-Żakowicz J.**, De Cat P., Catanzaro G., Fu J. N., Ren A. B., Luo A. L., Shi J. R., Wu Y., Zhang T. H., 2016, „*Activity indicators and stellar parameters of the Kepler targets. An application of the ROTFIT pipeline to LAMOST-Kepler stellar spectra*”, *Astronomy & Astrophysics*, 594, A39 (**H12**), mój udział: 50%

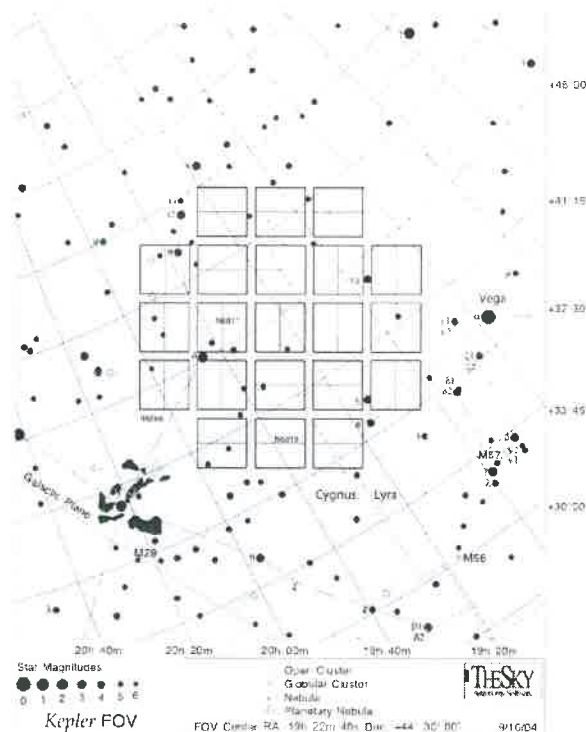
Joanna Molenda-Żakowicz

4c) Omówienie celu naukowego/artystycznego ww. pracy/prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania

Przedmiotem niniejszej rozprawy jest naziemne badanie gwiazd, które zostały wybrane do zbadania ich zmienności i przeprowadzenia analizy asterosejsmicznej na podstawie obserwacji uzyskanych za pomocą teleskopu kosmicznego *Kepler*. W dalszej części tej rozprawy będę nazywać te gwiazdy „celami asterosejsmicznymi *Keplera*”. Wyniki moich prac badawczych zostały opisane w publikacjach tworzących serię zgłoszoną do niniejszej rozprawy habilitacyjnej: **H1, H2, H3, H4, H5, H6, H7, H8, H9, H10, H11 i H12.**

## PROJEKT KEPLER

Teleskop kosmiczny *Kepler* został wyniesiony na orbitę 6 marca 2009 roku w ramach dziesiątej misji programu Discovery realizowanego przez NASA. Jego praca rozpoczęła się 2 maja 2009 r. *Kepler* prowadził obserwacje przy użyciu teleskopu konstrukcji kamery Schmidta o aperturze 0,95 m wyposażonego w filtr fotometryczny przepuszczający promieniowanie w zakresie od 400 do 850 nm. Nominalna precyzja obserwacji *Keplera* pozwalała na detekcję pojedynczego, trwającego 6,5 godziny tranzytu planety wielkości Ziemi na tle tarczy gwiazdy typu widmowego G2 i jasności  $V=12$  mag, na poziomie  $4\sigma$ . Nominalne pole obserwacji *Keplera* (dalej: pole *Keplera*) zostało umieszczone na niebie północnym w gwiazdozbiorach Łabędzia i Lutni (zob. il. 1). Jego powierzchnia wynosiła 105 stopni kwadratowych. Obserwacje prowadzone były w sposób niemal ciągły, jednocześnie dla około 150 000 gwiazd ciągu głównego; wyjątkami były przerwy techniczne. W obserwacjach używano krótkiej, tzw. minutowej kadencji, w której czas ekspozycji wynosił 58,85 s lub długiej, tzw. 30-minutowej kadencji, w której czas ekspozycji wynosił 1765,8 s. Obserwacje miały postać szeregów czasowych o długości zależnej od wybranych interwałów czasowych, w których były prowadzone obserwacje *Keplera*, tzw. kwartałów obserwacyjnych. Długość tych kwartałów wynosiła około 90 dni, jak podane w tabeli 1<sup>1</sup>. Wyjątkami były kwartał pierwszy (Q0), drugi (Q1) i ostatni (Q17).



Ilustracja 1: Lokalizacja 42 chipów detektorów CCD *Keplera* w nominalnym polu widzenia tego satelity. Źródło: NASA

Joanna Molenda-Żakowicz

1 Na podstawie informacji ze strony internetowej <https://keplerscience.arc.nasa.gov/ArchiveSchedule.shtml>

Tabela 1: Kwartały obserwacyjne Keplera.

Kwartał obserwacyjny	Początek	Koniec	Długość [dni]
Q0	2 maja 2009	11 maja 2009	9
Q1	13 maja 2009	15 czerwca 2009	33
Q2	20 czerwca 2009	16 września 2009	88
Q3	18 września 2009	16 grudnia 2009	89
Q4	19 grudnia 2009	19 marca 2010	90
Q5	20 marca 2010	23 czerwca 2010	93
Q6	24 czerwca 2010	22 września 2010	90
Q7	23 września 2010	22 grudnia 2010	90
Q8	22 grudnia 2010	19 marca 2011	87
Q9	24 marca 2011	27 czerwca 2011	95
Q10	28 czerwca 2011	27 września 2011	91
Q11	29 września 2011	4 stycznia 2012	97
Q12	5 stycznia 2012	28 marca 2012	83
Q13	29 marca 2012	27 czerwca 2012	90
Q14	28 czerwca 2012	3 października 2012	97
Q15	5 października 2012	11 stycznia 2013	98
Q16	12 stycznia 2013	8 kwietnia 2013	86
Q17	9 kwietnia 2013	8 maja 2013	29

Głównym celem naukowym *Keplera* była detekcja tranzytów planet. Wysiłki naukowców z grupy *Keplera* (*Kepler Team*) koncentrowały się przy tym na poszukiwaniu planet wielkości Ziemi orbitujących wokół gwiazd podobnych do Słońca i znajdujących się w ekosferach, czyli obszarach, w których temperatura na powierzchni planety jest odpowiednia, aby znajdująca się tam woda pozostawała w stanie ciekłym. Szczegóły techniczne i cele naukowe projektu *Kepler* zostały opisane szczegółowo przez Kocha i in. (2010). Misja *Kepler* bardzo szybko przyniosła oczekiwane rezultaty. Już po pierwszych sześciu tygodniach obserwacji *Kepler* odkrył pięć egzoplanet o promieniach od 0,37 do 1,6 promieni Jowisza i okresach orbitalnych od 3,2 do 4,9 dnia (Borucki i in. 2010). Aktualna liczba potwierdzonych planet odkrytych przez *Keplera* przekracza 2300<sup>2</sup>, a lista publikacji związanych z tą misją przekracza 2100 pozycji<sup>3</sup>.

Ponieważ badanie układów planetarnych, wymaga informacji dodatkowych w stosunku do tych, które miały być uzyskane z obserwacji *Keplerem*, przed wyniesieniem tego teleskopu na orbitę wykonano naziemne obserwacje fotometryczne w filtrach *griz* systemu Sloan, które posłużyły do wyznaczenia temperatury efektywnej ( $T_{\text{eff}}$ ), przyspieszenia grawitacyjnego na powierzchni ( $\log g$ ), metaliczności ( $[Fe/H]$ ), nadwyżki barwy ( $E(B - V)$ ) i oszacowania promienia ( $R$ ) gwiazd z pola *Keplera* i najbliższych mu okolic. Gwiazdy i galaktyki zaobserwowane w ramach wspomnianego

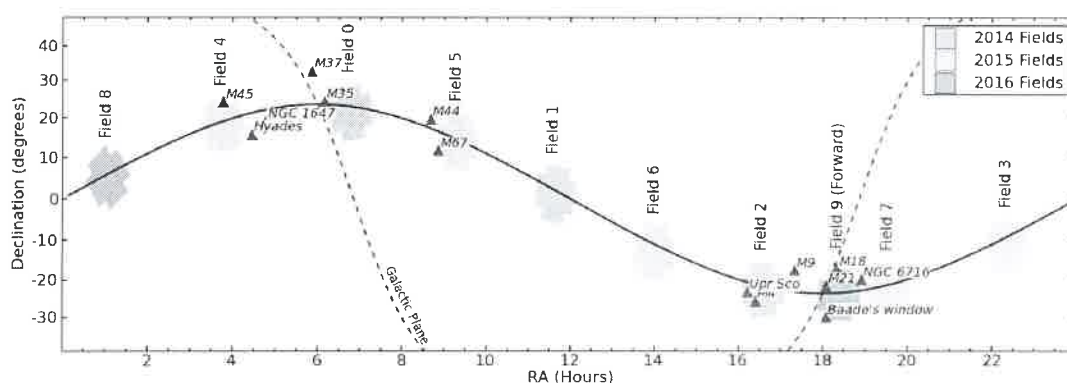
<sup>2</sup> <http://kepler.nasa.gov>, stan na luty 2017.

<sup>3</sup> <https://keplerscience.arc.nasa.gov/publications.html>, stan na luty 2017.

projektu są ujęte w katalogu o nazwie *Kepler* Input Catalog (KIC, Latham in. 2005), który zawiera 13 161 029 obiektów, w tym 13 123 717 gwiazd i 37 312 galaktyk. Podane tam wartości  $T_{\text{eff}}$ ,  $\log g$ ,  $[\text{Fe}/\text{H}]$ ,  $E(B - V)$  i  $R$  zostały wyliczone dla 2 106 821 gwiazd (czyli dla 16% gwiazdowej populacji tego katalogu). Ich nominalna dokładność wynosi 200 K w  $T_{\text{eff}}$  oraz 0.5 dex w  $\log g$  i  $[\text{Fe}/\text{H}]$ , co wystarcza, aby odróżnić karły od olbrzymów wśród gwiazd o  $T_{\text{eff}}$  wpadającej w przedział od 4500 do 6500 K (Brown i in. 2011).

Drugim celem naukowym projektu *Kepler* było zbadanie struktury wewnętrznej, a zwłaszcza precyzyjne wyznaczenie promieni gwiazd wybranych na cele asterosejsmiczne *Keplera* (Christensen-Dalsgaard 2004). Dla grupy *Kepler* Team szczególnie interesujące były wyniki analizy asterosejsmicznej gwiazd podobnych do Słońca posiadających układy planetarne i wykazujących pulsacje typu słonecznego, ponieważ wyznaczenie promieni tych gwiazd pozwala na wyznaczenie promieni tranzytujących planet, a badanie tych ostatnich było bezpośrednio związane z głównym celem misji. Promienie gwiazd wyliczane były także z analizy krzywej blasku tranzytu (zob. np. Sozzetti i in. 2007), która jest metodą komplementarną do analizy asterosejsmicznej, użyteczną dla gwiazd, dla których w obserwacjach *Keplera* uzyskano niski stosunek sygnału do szumu, uniemożliwiający detekcję indywidualnych częstości zmienności i ograniczający możliwości diagnostyczne analizy asterosejsmicznej (Christensen-Dalsgaard i in. 2010). Gwiazdy przy których odkryto planety były następnie selekcjonowane tak, by wybrać najlepsze cele dla uzyskania szeregów czasowych wykonanych za pomocą spektrografów o wysokiej zdolności rozdzielczej, precyzji i stosunku sygnału do szumu, dzięki którym można wyznaczyć dokładne parametry gwiazd i masy obiegających je planet (zob. np. Marcy i in. 2014).

Po nieco ponad trzech latach pracy w kosmosie, 11 maja 2013 r. zepsuło się drugie z czterech kół reakcyjnych *Keplera*, uniemożliwiając utrzymanie precyzyjnego ustawienia pola obserwacji i uzyskiwanie pomiarów fotometrycznych o tak wysokiej dokładności, jak ta przed awarią. Zmusiło to zespół *Keplera* do ponownego określenia celu misji i ustalenia nowego sposobu wykorzystania instrumentu pokładowego (Chaplin i in. 2013). Obecnie projekt *Kepler* kontynuowany jest pod nazwą K2, wciąż poszukując tranzytujących planet i prowadząc badania asterosejsmiczne. K2 obserwuje pola leżące w płaszczyźnie ekliptyki (zob. il. 2), które są zmieniane co około 83 dni.



Ilustracja 2: Pola obserwacyjne zaplanowane dla misji K2 na lata 2014, 2015 i 2016. Źródło: NASA

## KONSORCJUM ASTEROSEJSMICZNE KEPLERA „KASC”

W celu realizacji asterosejsmicznej części programu naukowego projektu *Kepler* powołana została organizacja o nazwie *Kepler Asteroseismic Investigation* (KAI). Do zadań KAI należało tworzenie i rozwijanie specjalistycznego oprogramowania do analizy obserwacji *Keplera*, wyznaczanie globalnych parametrów gwiazd, w szczególności ich promieni, wieku i mas, rozwijanie modeli wewnątrz gwiazdowych oraz niezwłoczne publikowanie otrzymanych wyników. Umowa między KAI a wykonawcami projektu *Kepler* gwarantowała, że KAI zawsze będzie mogła obserwować w krótkiej (jednominutowej) kadencji określoną liczbę celów asterosejsmicznych.

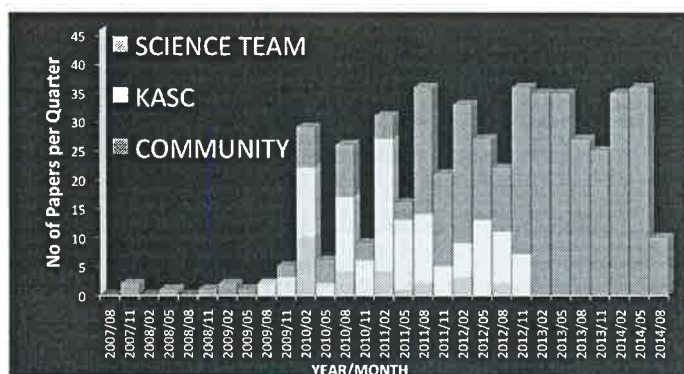
W celu organizacji prac KAI powołane zostało *Kepler Asteroseismic Science Operations Center* (KASOC) oraz *Kepler Asteroseismic Science Consortium* (KASC). Prace nad utworzeniem KASC zaczęły się w roku 2005, w czym do pewnego stopnia brałam udział podczas mojego pobytu na stażu naukowym w Uniwersytecie Aarhus w Danii. Formalna inicjacja KASC została ogłoszona 29 października 2007 r. podczas konferencji pt. „*First KASC workshop*” w Orsay we Francji. W skład KASC weszli naukowcy chcący włączyć się w aktywności KAI, by badać gwiazdy pulsujące różnych typów.

Jednym z najważniejszych elementów działalności KASC była weryfikacja podanych w KIC wartości parametrów atmosferycznych celów asterosejsmicznych *Keplera*. Było to działanie konieczne do modelowania asterosejsmicznego tych gwiazd, ponieważ nominalna precyzja  $T_{\text{eff}}$ ,  $\log g$  i  $[\text{Fe}/\text{H}]$  z tego katalogu jest o wiele poniżej wymagań analizy asterosejsmicznej (Stello i in. 2009; Creevey i in. 2012). Problem niedokładności wyznaczeń parametrów atmosferycznych w KIC jest szczególnie poważny dla gwiazd gorętszych niż Słońce. Na przykład dla gwiazd typu widmowego B, rozbieżności między temperaturami efektywnymi z KIC i tymi wyznaczonymi metodami spektroskopowymi dochodzą do kilku tysięcy kelwinów (H5; Molenda-Zakowicz i in. 2010b; Lehmann i in. 2011; McNamara i in. 2012).

Po formalnym ogłoszeniu założenia konsorcjum KASC, zostało w nim wyodrębnione 14 grup roboczych koncentrujących się na gwiazdach pulsujących różnych typów. Ja należałam do kilku grup roboczych KASC, jednak najbardziej zaangażowana byłam w prace grupy pierwszej, WG 1, o nazwie „*Solar-like p-mode Oscillations*”. Moim zadaniem w WG 1 było koordynowanie prac podgrupy dziewiętej (WG 1.9) noszącej nazwę „*Ground-based follow-up*” i zajmującej się naziemnymi obserwacjami gwiazd typu słonecznego (H6; Molenda-Zakowicz i in. 2010b; Uytterhoeven i in. 2010). Moje aktywności w WG 1.9 obejmowały organizowanie i wykonywanie obserwacji naziemnych, wykonywanie analizy zebranych danych i publikowanie uzyskanych wyników, przekazywanie członkom WG 1.9 informacji o aktualnych potrzebach obserwacji naziemnych zgłaszanych przez *Kepler Team*, synchronizacja prac WG 1.9 z planami obserwacyjnymi *Keplera*, uczestnictwo w przygotowywaniu wspólnych aplikacji o czas obserwacyjny na różnych instrumentach astronomicznych, nadzorowanie tego, czy efekty prac WG 1.9 są niezwłocznie publikowane, a praca wszystkich członków podgrupy należycie doceniona w publikacjach poprzez współautorstwo i podziękowania dla grantów, pośrednictwo w dzieleniu się naziemnymi danymi obserwacyjnymi zebranymi przez różnych obserwatorów, archiwizacja obserwacji uzyskanych przez członków WG 1.9, prezentowanie prac WG 1.9 podczas międzynarodowych konferencji tematycznych, zapewnienie przepływu informacji pomiędzy naukowcami zarejestrowanymi w WG 1.9, informowanie pozostałych podgrup WG 1 o pracach WG 1.9 oraz wprowadzanie informacji dotyczących szczegółów wykonanych i bieżących prac WG 1.9 na (już nieistniejącej) stronie internetowej administrowaną przez prof. Williama Chaplina z

Uniwersytetu Birmingham w Wielkiej Brytanii, który był koordynatorem grupy WG 1. Dzięki mojej pracy, indywidualne projekty obserwacyjne związane z badaniem gwiazd typu słonecznego były realizowane bardziej efektywnie. Przykładowo, jeśli pojawiała się pilna potrzeba obserwacji danej gwiazdy, zyskiwała ona wyższy priorytet na liście celów obserwacyjnych wszystkich obserwatorów. Jeśli dana gwiazda została już zaobserwowana przez jednego ze współpracujących badaczy, inni mogli skoncentrować się na pozostałych obiektach.

Efektywność działania KASC jest zilustrowana na il. 3, na której widać, że od początku swojej działalności publikacje tego konsorcjum stanowiły znaczny procent ogółu publikacji związanych z *Keplerem*. Fakt, że począwszy od roku 2013 publikacje KASC przestały być wyszczególniane przez *Kepler Science Center* nie oznacza, że konsorcjum to przestało funkcjonować. Przeciwnie, działalność naukowa KASC była i wciąż jest intensywna lecz konsorcjum to uległo restrukturyzacji. Zmieniła się liczba



Ilustracja 3: Histogram artykułów nie związanych z egzoplanetami, opublikowanych przez Kepler Science Team, Kepler Asteroseismic Science Consortium (KASC) i niezrzeszoną społeczność naukową. Źródło: NASA

grup roboczych, zostało zweryfikowane członkostwo wcześniej zapisanych osób (aktualnie do KASC należy 592 naukowców zarejestrowanych w różnych grupach roboczych) oraz zmieniło się obsadzenie stanowisk funkcyjnych. Grupa robocza WG 1 została zachowana pod nieco zmienioną nazwą „*Solar-like Oscillations*” lecz zlikwidowane zostały wszystkie podgrupy i związane z nimi stanowiska koordynatorów, w tym moje. Moja współpraca z KASC jest jednak wciąż bliska, a niemal wszystkie moje publikacje powstałe w latach 2006–2016 są wynikiem moich prac prowadzonych w ramach KASC lub ściśle z nim powiązanego projektu europejskiego ASK<sup>4</sup>.

## PROJEKT ASK

Ponieważ wszystkie prace w KASC wykonywane były w ramach własnych środków na badania naukowe, aktywność poszczególnych członków konsorcjum ulegała fluktuacjom. Było to wyraźnie widać w podgrupie WG 1.9, w której wykonywanie obserwacji naziemnych ściśle zależało od indywidualnych możliwości finansowych i czasowych badaczy. Aby usprawnić te prace, w 2010 r. napisałam i złożyłam wniosek o finansowanie europejskiego projektu badawczego pod tytułem „*Sounding Stars with Kepler*” (tytuł wniosku w języku polskim to „*Badania gwiazd przy pomocy satelity Kepler*”) o akronimie ASK. Wniosek ten został zgłoszony do konkursu Marie Curie, International Research Staff Exchange Scheme (IRSES), panel: Fizyka, identyfikator: FP7-PEOPLE-2010-IRSES, data publikacji: 25 listopada 2009 r., data zamknięcia: 25 marca 2010 r.

Projekt ASK zakładał ścisłą współpracę między 13-ma placówkami badawczymi, wśród których znajdowały się Uniwersytet Wrocławski (koordynator, Polska), Aarhus University (Dania), Konkoly Observatory of the Hungarian Academy of Sciences (Węgry), INAF – Osservatorio Astrofisico di Catania (Włochy), Centro de Astrofisica Universidade do Porto (Portugalia), Instituto

4 [http://cordis.europa.eu/project/rcn/99032\\_en.html](http://cordis.europa.eu/project/rcn/99032_en.html), <http://ask.astro.uni.wroc.pl>



de Astrofisica de Canarias (Hiszpania), Service d'Astrophysique, IRFU/DSM/CEA Saclay (Francja), School of Physics University of Sydney (Australia), New Mexico State University (NM, USA), Los Alamos National Laboratory (NM, USA), Yale University (CT, USA), National Center for Atmospheric Research (CO, USA) oraz Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics (MA, USA). Współpraca ta miała dotyczyć analizy obserwacji misji *Kepler* a następnie K2 (informacja o uwzględnieniu w projekcie ASK obserwacji uzyskanych za pomocą K2 została dodana do Aneksu 1 do projektu ASK w roku 2013), wykonywanie spektroskopowych i fotometrycznych obserwacji naziemnych oraz prowadzenie badań teoretycznych dotyczących pulsacji gwiazdowych.

Projekt ASK uzyskał akceptację Agencji Wykonawczej ds. Badań Naukowych (Research Executive Agency, REA). Otrzymał finansowanie w kwocie 369 600 EUR oraz został mu nadany numer 269194. Projekt rozpoczął się 1 maja 2011 r., a zakończył 31 grudnia 2015 r. Z projektu ASK skorzystało bezpośrednio 53 naukowców, którzy odwiedzili partnerskie instytuty spędzając w nich od jednego do kilku miesięcy. Faktyczna liczba naukowców zaangażowanych w realizację celów ASK była jednak dużo większa, jako że każda z delegowanych osób współpracowała w wizytowanym ośrodku z co najmniej kilkoma naukowcami. Głównym celem ASK było stworzenie warunków do wymiany myśli naukowej i zdobywania nowych umiejętności i kwalifikacji przez delegowanych badaczy. Z tego powodu duża część aktywności projektowych związana była z tzw. treningami, na które składało się zapoznanie się z metodami analizy i interpretacji danych, obsługa zaawansowanych programów komputerowych oraz zdobywanie doświadczenia w planowaniu i prowadzeniu obserwacji astronomicznych.

Projekt ASK koncentrował się na analizie sejsmicznej oscylacji gwiazd, ponieważ była to i wciąż jest jedyna dostępna metoda diagnostyczna pozwalająca na precyzyjne badanie wnętrza gwiazdowych i wyznaczanie globalnych własności gwiazd pulsujących. Projekt ten dotyczył głównie gwiazd wykazujących oscylacje typu słonecznego i znajdujących się na różnych etapach zaawansowania ewolucyjnego. Szczególnie dużo uwagi zostało poświęcone czerwonym olbrzymom i gwiazdom w gromadach otwartych w polu *Keplera* (np. Hekker i in. 2011; Stello i in. 2011; Corsaro i in. 2012; Mathur i in. 2012; Miglio i in. 2012; Mosser i in. 2012; Doğan i in. 2013; Chaplin i in. 2014; Cunha i in. 2015; Takeda i Tajitsu 2015; Takeda i in. 2016). Intensywnie badane były też gwiazdy pulsujące typu RR Lyr (np. Nemeč i in. 2011; Guggenberger i in. 2012; Le Borgne i in. 2014; Benkó i Szabó 2015; Molnár i in. 2015) oraz gwiazdy pulsujące typu  $\gamma$  Doradus i  $\delta$  Scuti (np. Uytterhoeven i in. 2011; Guzik i in. 2013, 2015; Bradley i in. 2015).

Moją rolą w ASK było wykonywanie prac badawczych, koordynacja działań uczestników projektu, sprawowanie nadzoru merytorycznego i finansowego nad projektem, coroczne sprawozdawanie przebiegu prac do REA, rozwiązywanie konfliktów pojawiających się podczas realizacji projektu oraz pełnienie funkcji osoby kontaktowej pomiędzy REA a wykonawcami ASK. Ponieważ moje prace w ASK prowadzone były równolegle moimi aktywnościami w KASC, z racji bliskości tematów badawczych wiele elementów było wspólnych. Wśród nich znajdowało się przygotowywanie aplikacji o czas obserwacyjny, wykonywanie, opracowanie i analiza obserwacji spektroskopowych i fotometrycznych oraz publikacja wyników. Uniwersytet Wrocławski był odpowiedzialny za realizację pakietu roboczego numer 1 opisanego w Aneksie 1 do projektu. Pakiet ten dotyczył uzyskania obserwacji komplementarnych do tych, które są dostarczane przez satelitę *Kepler*. Dla mnie był to szczególnie istotny element projektu, ponieważ osobiście byłam zaangażowana w jego realizację. W celu zapewnienia odpowiedniej bazy obserwacyjnej w projekcie, zadbałam o to, aby wśród partnerów ASK znalazł się Uniwersytet Stanowy Nowego Meksyku (New Mexico State University, NMSU), który ma dostęp do Obserwatorium Apache Point

(APO, Nowy Meksyk, USA) i rocznie dysponuje kilkoma tygodniami gwarantowanego czasu obserwacyjnego. Obserwacje zaplanowane w projekcie ASK były prowadzone nie tylko w APO lecz również w Obserwatorium Mauna Kea (Hawaje, USA), Obserwatorium Kitt Peak (Arizona, USA), Obserwatorium Roque de los Muchachos (ORM, Hiszpania), Obserwatorium Astrofizycznym Katanii (Włochy), Obserwatorium Astronomicznym w Xinglong (Chiny), Obserwatorium CHARA Array na górze Mount Wilson (Kalifornia, USA), Obserwatorium Astrofizycznym Uniwersytetu Wrocławskiego w Białkowie (Polska), a także przez Amerykańskie Stowarzyszenie Obserwatorów Gwiazd Zmiennych (American Association of Variable Star Observers, AAVSO) i teleskop kosmiczny MOST (Microvariability and Oscillations of STars). Obserwacje te posłużyły do wyznaczenia temperatury efektywnej, przyspieszenia siły ciężkości na powierzchni i metaliczności gwiazd, przeprowadzenia klasyfikacji widmowej, wyznaczenia prędkości radialnej i rzutowanej równikowej prędkości rotacji, a dla wybranych gwiazd wyznaczenia szczegółowego składu chemicznego, rozmiarów kątowych, analizy zmienności i określenia poziomu aktywności.

Projekt ASK ukierunkowany był na rozwój kariery indywidualnych naukowców, co oznaczało, że każdy z uczestników mógł realizować własne zadania badawcze wpisujące się w ramy tematyczne ASK lecz niekoniecznie bezpośrednio powiązane z pracami innych badaczy. Beneficjenci ASK mieli możliwość zapoznania się z różnymi narzędziami i metodami analizy danych, wśród których wymienić można konstrukcję i interpretację wykresów echelle dla gwiazd wykazujących oscylacje typu słonecznego oraz wyznaczanie parametrów modów ich oscylacji (np. Appourchaux i in. 2012), wyznaczanie parametrów atmosferycznych (np. H11 i H12), wyliczanie modeli atmosfer i widm syntetycznych, diagnozowanie systematycznych błędów w modelowaniu asterosejsmicznym (Appourchaux i in. 2014), stosowanie metod analizy Bayesa (np. Corsaro i De Ridder 2014), opracowanie obserwacji zebranych przez satelitę *Kepler*, K2 i MOST (np. Mathur i in. 2012; Handberg i Lund 2014; Evans i in. 2015; Molnár i in. 2015), badanie własności egzoplanet (Van Eylen i in. 2014; Davies i in. 2015; Van Eylen i Albrecht 2015), udoskonalanie metod wyznaczania precyzyjnych wartości prędkości radialnych (Fischer i in. 2016), stosowanie symulacji typu Markov-Chain-Monte-Carlo (np. Lund i in. 2014a; Van Eylen i Albrecht 2015) czy stosowanie symulacji 3-D służących do badania mechanizmu dynamy słonecznego i hydrodynamiki słonecznej (Alvan i in. 2015; Brun i in. 2015). Badania te były prowadzone przy użyciu zaawansowanych programów komputerowych takich jak, m.in., Aarhus STellar Evolution Code (ASTEC), Aarhus Adiabatic Pulsation Code (ADIPLS), Modules for Experiments in Stellar Astrophysics (MESA), Asteroseismology Made Easy (AME), biblioteka kodów ASTER, kody ewolucyjne CLES i Cestam, program ATOMIC zastosowany do wyliczenia tablic nieprzezroczystości OPLIB (Walczak i in. 2015), program MOOG służący do analizy obserwacji spektroskopowych, program SPECTRUM służącym do wyznaczania parametrów gwiazd oraz programy ASH, EULAG-MHD i PENCIL służące do badań zjawisk magnetohydrodynamicznych.

W mojej placówce macierzystej, czyli Instytucie Astronomicznym Uniwersytetu Wrocławskiego, z projektu ASK skorzystało czterech naukowców: dr Marek Stęślicki, który odbył dwa staże naukowe w National Center for Atmospheric Research w okresie od 1 lipca 2011 r. do 29 lutego 2012 r. i od 13 kwietnia do 12 czerwca 2012 r., doktorant Dawid Moździerski, który odbył staż naukowy w New Mexico State University w okresie od 3 kwietnia 2013 r. do 6 października 2013 r., dr Przemysław Walczak, który odbył staż naukowy w Los Alamos National Laboratory w okresie od 31 października 2014 r. do 30 kwietnia 2015 r., oraz dr Joanna Molenda-Zakowicz, która odbyła staż naukowy w New Mexico State University w okresie od 4 września 2014 r. do 8 sierpnia 2015 r.

W czasie 56-ciu miesięcy realizacji, projekt ASK osiągnął wszystkie zaplanowane cele. Proces wydobywania informacji z danych zebranych przez satelitę *Kepler* i K2 został przyspieszony i zoptymalizowany poprzez konstrukcję pipeline-ów pozwalających na automatyczną kalibrację, redukcję i analizę danych (Metcalf i in. 2014; Handberg i Lund 2014; Pires i in. 2015). Opracowane zostały specjalistyczne pakiety oprogramowania, takie jak np. Asymptotic Analysis of Red Giants (AARG) (Corsaro i in. 2012), który pozwala na wyznaczanie asymptotycznych parametrów modów p i modów mieszanych w czerwonych olbrzymach, high-Dimensional And multi-MODal NESTED Sampling (DIAMONDS) (Corsaro i De Ridder 2014), który można stosować do różnych badań wykorzystujących analizę Bayesa. Stworzona została strona internetowa Asteroseismic Modeling Portal (AMP) (Metcalf i in. 2014), która udostępnia zasoby obliczeniowe potrzebne do wykonywania analizy asterosejsmicznej. Zmniejszone zostały niepewności modeli asterosejsmicznych pochodzące od niedokładności opisu fizycznego pulsacji i wewnątrz gwiazdowych związanych z procesami turbulencji (Antoci i in. 2014), rotacji różnicowej (Lund i in. 2014b), wpływem pól magnetycznych na własności modów pulsacji (García i in. 2014; Stello i in. 2016; van Saders i in. 2016) i zagadnieniami dotyczącymi nieliniowej teorii pulsacji opisującymi sprzężanie, wzbudzenie i tłumienie modów (Cunha i in. 2015). Wyliczone zostały precyzyjne wartości promieni badanych gwiazd i własności ich planet (np. Borkovits i in. 2013). Dla kilku najjaśniejszych gwiazd z pola *Keplera* wyniki uzyskane z asterosejsmologii zostały potwierdzone w badaniach interferometrycznych (Huber i in. 2012; Cunha i in. 2013; White i in. 2013).

Dodatkowymi produktami ASK były fotometryczne i spektroskopowe obserwacje naziemne gromad i asocjacji gwiazdowych oraz wybranych gwiazd znajdujących się poza polem *Keplera* (np. Michalska i in. 2013; Szabados i in. 2013; Moździerski i in. 2014), spektroskopowe obserwacje Zgrubienia Centralnego Drogi Mlecznej wykonane w ramach projektu ARGOS (Ness i in. 2013), obserwacje Słońca za pomocą satelity SoHo i instrumentów GOLF i VIRGO/SPM (García i in. 2013) oraz badanie jądra komety Hale-Bopp (Szabó i in. 2012).

Do projektu ASK odwołuje się 96 publikacji recenzowanych. Są to artykuły opublikowane w wiodących czasopismach naukowych, w tym dwie prace w *Nature* (Stello i in. 2016; van Saders i in. 2016). Ja jestem współautorką ośmiu publikacji odwołujących się do ASK (Chaplin i in. 2013, 2014; Mathur i in. 2012; Doğan i in. 2013; Guzik i in. 2015, 2016; **H11** i **H12**). Dzięki ASK powstało też pięć publikacji konferencyjnych i książka pt. „Extraterrestrial Seismology” (Tong i García 2015). Wyniki prac ASK były prezentowane przez wszystkich beneficjentów projektu na międzynarodowych konferencjach naukowych i podczas seminariów wygłaszanych we współpracujących ośrodkach. Moje własne prezentacje zostały przedstawione podczas 15-tu konferencji, w których wzięłam udział między 1 maja 2011 r. a 31 grudnia 2015 r. Wygłosiłam tam 15 ustnych prezentacji (w tym pięć referatów zaproszonych) i pokazałam 10 plakatów. Wyniki będące rezultatem prac wykonanych w ramach ASK zaprezentowałam także na dwóch spotkaniach konferencyjnych w roku 2016, pięciu seminariach wygłoszonych w Instytucie Astronomicznym Uniwersytetu Wrocławskiego, pięciu zagranicznych seminariach wygłoszonych w INAF-Osservatorio Astrofisico di Catania (Włochy), Centro de Astrofísica da Universidade do Porto (Portugalia), Isaac Newton Group of Telescopes (Hiszpania) i New Mexico State University (USA) i sześciu spotkaniach organizowanych przez Regionalny Punkt Kontaktowy ds. Projektów Europejskich we Wrocławiu i Krajowy Punkt Kontaktowy ds. Projektów Europejskich. ASK promowany był w prasie, mediach i podczas wystaw zorganizowanych przez Regionalny Punkt Kontaktowy Programów Badawczych Unii Europejskiej we Wrocławiu. Wystawy te miały miejsce na wrocławskim Rynku, wrocławskim lotnisku oraz w budynku Politechniki Wrocławskiej. We wszystkie te aktywności promocyjne byłam zaangażowana osobiście, przygotowując odpowiednie

materiały i weryfikując ich treść merytoryczną.

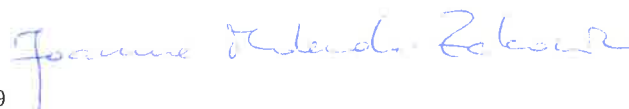
## SZCZEGÓŁOWE OMÓWIENIE WYNIKÓW PRAC WCHODZĄCYCH W SKŁAD ROZPRAWY HABILITACYJNEJ

Wszystkie prace włączone w skład niniejszej rozprawy zawierają wyniki uzyskane przeze mnie na podstawie spektroskopowych i fotometrycznych naziemnych obserwacji celów asterosejsmicznych *Keplera*. Tematycznie prace te koncentrują się na wyznaczaniu parametrów atmosferycznych i kinematycznych, czyli temperatury efektywnej, przyspieszenia grawitacyjnego na powierzchni, metaliczności, rzutowanej równikowej prędkości rotacji, prędkości radialnej, jak również typu widmowego i klasy jasności gwiazd programowych. Dla części tych gwiazd zmierzony został poziom aktywności chromosferycznej, określony został rodzaj zmienności fotometrycznej oraz wyznaczone zostało poczerwienienie międzygwiazdowe.

### WYZNACZANIE PARAMETRÓW ATMOSFERYCZNYCH GWIAZD Z POLA *KEPLERA*

Moje obserwacje naziemne gwiazd z pola *Keplera* rozpoczęły się cztery lata przed umieszczeniem tego teleskopu kosmicznego na orbicie (Molenda-Zakowicz 2006). Mój pomysł przeprowadzenia naziemnych obserwacji spektroskopowych w dziedzinie wizualnej oraz obserwacji fotometrycznych uwzględniających ultrafioletowy obszar widmowy celów asterosejsmicznych *Keplera* narodził się podczas mojego pobytu na Uniwersytecie w Aarhus w Danii na przełomie roku 2004 i 2005. Podczas tego stażu naukowego wyłoniła się również idea powołania Konsorcjum Asterosejsmicznego *Keplera* (KASC). Moje przyszłe prace naukowe miały być częścią działalności tego konsorcjum.

Pierwszym zadaniem mojego planu badawczego było wybranie gwiazd do obserwacji. Ponieważ zainteresowania grupy naukowców, do której należałam podczas mojego stażu na Uniwersytecie w Aarhus (prof. Jørgen Christensen-Dalsgaard, prof. Hans Kjeldsen, dr Torben Arentoft, dr Hans Bruntt i in.) dotyczyły gwiazd, w których spodziewano się zaobserwować oscylacje typu słonecznego, postanowiłam rozpocząć moje obserwacje od takich właśnie obiektów. Jako że oscylacje typu słonecznego mają bardzo małe amplitudy – w gwiazdach ciągu głównego obserwowanych za pomocą szerokopasmowych filtrów fotometrycznych są to wielkości rzędu kilku części na milion (Christensen-Dalsgaard 2004; Christensen-Dalsgaard i in. 2007; Appourchaux i in. 2008) – uznałam, że optymalnym podejściem będzie wybranie najjaśniejszych gwiazd z pola *Keplera*, dla których można uzyskać wysoki stosunek sygnału do szumu zarówno w obserwacjach naziemnych jak i satelitarnych. Zgodnie z nominalnym zakresem jasności celów obserwacyjnych *Keplera*, najjaśniejsze gwiazdy możliwe do obserwacji tym instrumentem mogły mieć jasność 9 mag w pasmie V. Taką też dolną granicę jasności przyjąłam podczas wyboru moich celów obserwacyjnych. Za górną granicę jasności przyjąłam 11 mag. To drugie ograniczenie było związane z możliwościami instrumentów obserwacyjnych, z jakich zamierzałam korzystać w moich obserwacjach jak i z możliwościami detekcji oscylacji typu słonecznego w danych *Keplera*. Instrumentami, które planowałam użyć, był 91-cm teleskop w Obserwatorium Astrofizycznym Katanii (INAF-OAcT) w M.G. Fracastoro Station (Serra La Nave, Etna, wysokość 1750 m n.p.m.), spektrograf średniej rozdzielczości ( $R=21\ 000$ ) FRESCO i fotometr fotoelektryczny, udostępnione mi dzięki uprzejmości prof. Marcello Rodonò, ówczesnego dyrektora Obserwatorium Astrofizycznego Katanii.



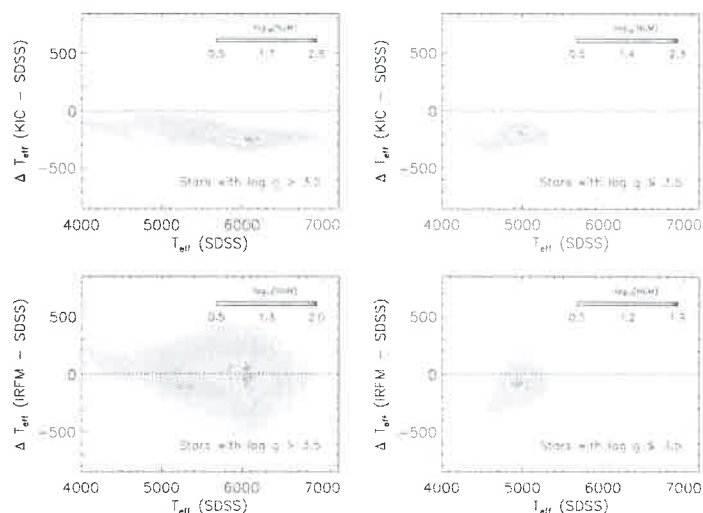
Narzędziami, z których korzystałam podczas wyboru celów obserwacyjnych były katalog KIC (Latham i in. 2005) i program napisany w języku C przez dr Davida Kocha z NASA Ames Research Center, będący kalkulatorem położenia gwiazd na chipach detektorów *Keplera*. Oba narzędzia, wówczas nieprzeznaczone do użytku publicznego, zostały udostępnione przez dr Davida Lathama i dr Davida Kocha prof. Jørgenowi Christensenowi-Dalsgaardowi, który następnie przekazał je mnie. W czasie gdy przygotowywałam mój projekt obserwacyjny lokalizacja pola *Keplera* była wstępnie ustalona lecz z uwagi na to, że do wyniesienia tego satelity na orbitę pozostawało kilka lat, brałam pod uwagę możliwość modyfikacji tej lokalizacji i dlatego podzieliłam wybrane przez siebie gwiazdy na dwie grupy. Pierwszą stanowiły gwiazdy, których położenia wypadły na aktywnych pikselach chipów detektora *Keplera*. Do drugiej trafiły gwiazdy, które znajdowały się tuż poza aktywnymi pikselami i te, które znajdowały się na chipach umiejscowionych w narożnikach detektora, mających za zadanie kontrolowanie położenia satelity. Lista 104 gwiazd, które wybrałam do moich obserwacji naziemnych, została opublikowana w pracy Molenda-Żakowicz i in. (2006).

Jako pierwsze do obserwacji wybrałam 29 gwiazd typu widmowego F, G lub K, dla których w pracy Molenda-Żakowicz i in. (2006) wyliczyłam moce promieniowania, korzystając z wyrażenia na jasność absolutną podanego przez Smitha (1987), które uwzględnia poprawkę Lutza-Kelkera (Lutz i Kelker 1973). Były to moje główne cele asterosejsmiczne. W pracy **H1** gwiazdy te podzieliłam na dwie grupy. Do pierwszej trafiło 14 gwiazd, które znajdowały się na aktywnych pikselach detektorów *Keplera*, do drugiej, 15 pozostałych. Obserwacje tych gwiazd wykonane zostały w INAF-OACt, Oak Ridge Observatory (ORO, Harvard, Massachusetts) i F. L. Whipple Observatory (FLWO, Mount Hopkins, Arizona). Omawiane w pracy **H2** kolejne 33 gwiazdy (23 na aktywnych pikselach), obserwowane w INAF-OACt, ORO i FLWO, również były gwiazdami o typach widmowych F, G lub K. Dla tych gwiazd jednak nie wyliczałam mocy promieniowania, ponieważ precyzja pomiaru ich paralaks był gorsza niż miało to miejsce dla gwiazd z pracy **H1**. Kolejna grupa 36 gwiazd o typach widmowych A lub B (23 gwiazdy na aktywnych pikselach) była obserwowana tylko w INAF-OACt i została omówiona w pracy **H5**. W pracy **H7** omówione są 44 gwiazdy, które zostały ujęte w dwóch aplikacjach złożonych przeze mnie i przez dr Antonio Frascę w ramach pierwszej tury aplikacji obserwacyjnych *Keplera* w roku 2008. W tej turze aplikacji zostało złożonych również kilka innych aplikacji, których byłam współautorką. Wyniki obserwacji naziemnych tych gwiazd, które zostały zaakceptowane na cele asterosejsmiczne *Keplera*, zostały przedstawione w osobnych pracach (**H6**; Frasca i in. 2011; Fröhlich i in. 2012; Bruntt i in. 2012). Kolejna moja publikacja, **H9**, dotyczyła 169 gwiazd o typach widmowych z przedziału od F do M, obserwowanych za pomocą spektrografu FRESCO w INAF-OACt, FIES@Nordic Optical Telescope (NOT) i HERMES@Mercator w Observatorio Roque de los Muchachos (ORM) w Hiszpanii, NARVAL@Telescope Bernard Lyot (TBL) w Observatoire Pic du Midi (OPM, Francja) i ESPaDOnS@CFHT w Mauna Kea Observatories (MKO, USA).

Wszystkie obserwacje spektroskopowe i fotometryczne pochodzące z INAF-OACt zostały wykonane przeze mnie. Kalibrację i redukcję tych obserwacji wykonałam za pomocą oprogramowania IRAF (Tody 1986, 1993), którego użyłam również do zmierzenia prędkości radialnych gwiazd. Parametry atmosferyczne, rzutowaną równikową prędkość rotacji i klasyfikację widmową uzyskałam korzystając z programu ROTFIT (Frasca i in. 2003, 2006). Program ten, początkowo przeznaczony do pracy tylko z obserwacjami wykonanymi w INAF-OACt, w kolejnych latach został rozwinięty i zmodyfikowany tak, by odpowiadać specyfice obserwacji wykonanych różnymi instrumentami by i korzystać z różnych bibliotek gwiazd referencyjnych, jak zostało opisane w pracy **H9** i **H12**.

Wspólnymi cechami publikacji **H1**, **H2**, **H5**, **H7** i **H9** były liczba gwiazd wybranych do obserwacji (od kilkudziesięciu do ponad stu), zakres jasności (od około 9 do 11 mag w pasmie *V*) i indywidualne podejście do obserwowanych obiektów na każdym etapie prac, począwszy od obserwacji (dostosowanie czasu ekspozycji do jasności i typu widmowego gwiazdy oraz warunków pogodowych), przez kalibrację i redukcję (wszystkie kroki były wykonywane manualnie), analizę (podczas wyznaczania parametrów atmosferycznych i kinematycznych używane były tylko te fragmenty widma, które miały odpowiednią jakość), po interpretację (interesujące obiekty były dyskutowane szczegółowo w treści pracy). To skrupulatne podejście miało na celu uzyskanie jak największej dokładności wyznaczanych parametrów atmosferycznych, tak by mogły one skorygować lub uzupełnić brakujące wartości z katalogu KIC i następnie zostać użyte do analiz asterosejsmicznych w KASC. Konieczność używania precyzyjnych wartości  $T_{\text{eff}}$  i  $[\text{Fe}/\text{H}]$  gwiazd celem wyznaczenia ich promieni i mas została szczegółowo przedyskutowana na przykładzie gwiazd typu słonecznego przez Stello i in. (2009) i Creevey i in. (2012). Jako że dokładności wyznaczeń  $T_{\text{eff}}$  i  $[\text{Fe}/\text{H}]$  podawane w moich pracach nie są gorsze niż te dyskutowane przez wspomnianych autorów, wyznaczone przez mnie parametry atmosferyczne mogą być z powodzeniem używane do modelowania asterosejsmicznego.

Moje publikacje **H1**, **H2**, **H5**, **H7** i **H9** wpisywały się w szeroki strumień innych prac referujących wyniki naziemnych spektroskopowych obserwacji gwiazd z pola *Keplera*, w których obserwowano głównie gwiazdy o jasnościach  $V < 12$  mag (np. Bruntt i in. 2012; Thygesen i in. 2012; Everett i in. 2013; Tkachenko i in. 2013; Pinsonneault i in. 2014; Niemczura i in. 2015; Takeda i Tajitsu 2015; Takeda i in. 2016). Ważnym przyczynkiem do badań gwiazd z pola *Keplera* była również publikacja Huber i in. (2014), będąca katalogiem wartości  $T_{\text{eff}}$ ,  $\log g$ ,  $[\text{Fe}/\text{H}]$ ,  $R$ ,  $M$  i  $\rho$  196 468 gwiazd o typach widmowych



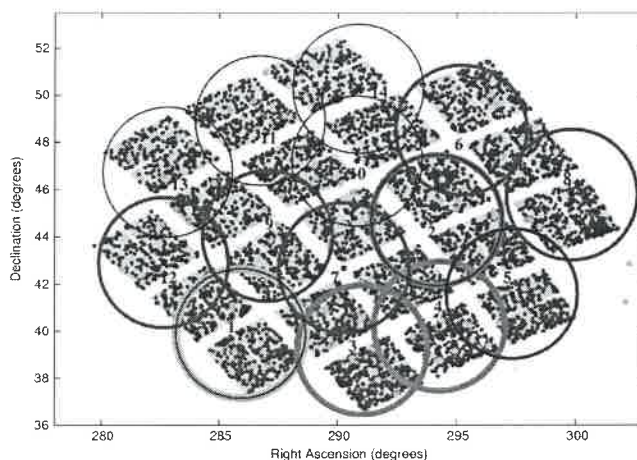
Ilustracja 4: Różnice w skalach  $T_{\text{eff}}$  z IRFM i SDSS w funkcji  $T_{\text{eff}}$  z KIC. Źródło: praca **H8**, rys. 6.

z przedziału od F do M, wyliczonych z parametrów atmosferycznych dostępnych w literaturze, które następnie zostały ujednolicone poprzez dopasowanie ich do siatki izochron z Dartmouth Stellar Evolution Database (DSEP, Dotter i in. 2008).

Innym pomysłem na poprawienie zawartości KIC była ponowna kalibracja temperatur efektywnych pochodzących z tego katalogu. Praca ta została wykonana w publikacji **H8**, traktującej o 161 977 gwiazdach z przedziału temperaturowego od 4000 do 7000 K, obserwowanych *Keplerem* w długiej kadencji. W pracy tej wykorzystana została fotometria *griz* pochodząca z katalogu KIC, zaś obliczenia wykonane zostały dla ustalonej wartości  $[\text{Fe}/\text{H}] = -0.2$  dex. Otrzymane wartości  $T_{\text{eff}}$  porównane zostały z temperaturami efektywnymi wyznaczonymi z kalibracji Casagrande i in. (2010) dla filtrów *JHK<sub>s</sub>*, wartościami  $T_{\text{eff}}$  z katalogu KIC i  $T_{\text{eff}}$  wyznaczonymi z obserwacji spektroskopowych (**H7**; Bruntt i in. 2012). Porównania te wykazały, że  $T_{\text{eff}}$  z katalogu KIC są o około 200 K niższe niż  $T_{\text{eff}}$  z innych źródeł i kalibracji (zob. il. 4). Aby ułatwić pracę nad tymi gwiazdami z pola *Keplera* o  $T_{\text{eff}}$  z przedziału 4000 – 7000 K, które nie zostały uwzględnione w

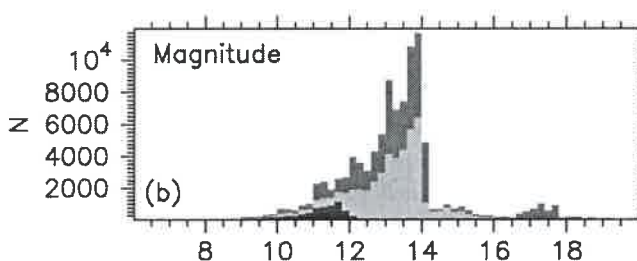
pracy **H8**, zaproponowaliśmy procedurę pozwalającą na skorygowanie wartości  $T_{\text{eff}}$  z KIC. Podaliśmy również poprawki pozwalające wyznaczyć  $T_{\text{eff}}$  dla metaliczności  $[\text{Fe}/\text{H}] = -2.0, -1.5, -1.0, -0.6, -0.4, 0.0, 0.2$  i  $0.4$  dex.

Masowa weryfikacja parametrów atmosferycznych gwiazd z pola *Keplera* miała być jednak możliwa dopiero w wyniku realizacji projektu LAMOST-*Kepler* (**H11**). Projekt ten został zainicjowany w roku 2011, a miał na celu wykonanie obserwacji spektroskopowych niskiej rozdzielczości ( $R \sim 1800$ ) dla jak największej liczby gwiazd w polu *Keplera*. Instrumentem, który został wykorzystany do tego celu był LAMOST, na którym zainstalowanych jest 16 wieloobektowych spektrografów (Cui i in. 2012; Zhao i in. 2012). W projekcie LAMOST-*Kepler* skupiliśmy się na gwiazdach o jasności  $11 > V > 14$  mag, które dotąd nie były obserwowane spektroskopowo. Lokalizacja naszych celów obserwacyjnych została zilustrowana na il. 5, zaś histogram ich jasności, na il. 6. Wśród obiektów wybranych przez nas do obserwacji znalazły się gwiazdy interesujące naukowo dla konsorcjum KASC i dla badaczy poszukujących planet (Batalha i in. 2010), gwiazdy należące do gromad otwartych NGC 6811, NGC 6819, NGC 6866 i NGC 6791 oraz inne gwiazdy, dla których KIC nie podawał parametrów atmosferycznych.



Ilustracja 5: Cele obserwacyjne projektu LAMOST-*Kepler* w polu *Keplera*. Czarne kropki oznaczają środki 14 obszarów pokrywających pole *Keplera*. Obszary obserwowane w latach 2011-2014 są zaznaczone okręgami narysowanymi liniami zmieniającymi się od grubej do cienkiej i od szarej do czarnej. Kolorami zakodowane są różne rodzaje gwiazd wybranych do obserwacji. Źródło: praca **H11**, rys. 2.

Obserwacje w ramach projektu LAMOST-*Kepler* rozpoczęły się w roku 2011. Zamierzaliśmy ukończyć je w ciągu dwóch sezonów obserwacyjnych lecz niekorzystne warunki pogodowe i ograniczony czas widoczności pola *Keplera* w Obserwatorium Xinglong sprawiły, że udało się to dopiero w roku 2014. W czasie tych czterech sezonów uzyskaliśmy 101 086 widm 80 447 gwiazd. Dla 63 333 gwiazd były to pojedyncze widma, 14 186 gwiazd zaobserwowaliśmy dwukrotnie, 2 483 gwiazdy, trzykrotnie, 332 gwiazdy, czterokrotnie, a 113 gwiazd pięciokrotnie lub więcej. Obserwacje te zostały przeanalizowane przez trzy niezależne grupy: Europejską (**H12**), która zajmowała się wyznaczaniem parametrów atmosferycznych,  $RV$ ,  $v \sin i$  i wstępną klasyfikacją widmową gwiazd, Amerykańską (Gray i in. 2016), która zajmowała się precyzyjną klasyfikacją widmową gwiazd w systemie Morgana-Keenana oraz Azjatycką (Ren i in. 2016), która zajmowała się wyznaczaniem parametrów atmosferycznych i  $RV$  gwiazd przy użyciu pipeline'u instrumentu LAMOST.

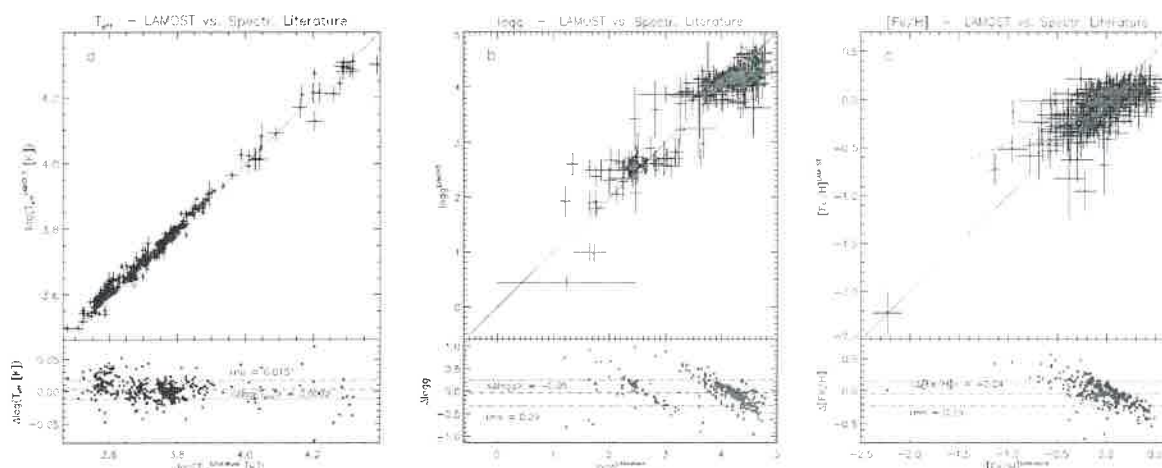


Ilustracja 6: Histogram jasności celów obserwacyjnych projektu LAMOST-*Kepler*. Kolorami zakodowane są różne rodzaje gwiazd wybranych do obserwacji. Źródło: praca **H11**, rys. 6b.

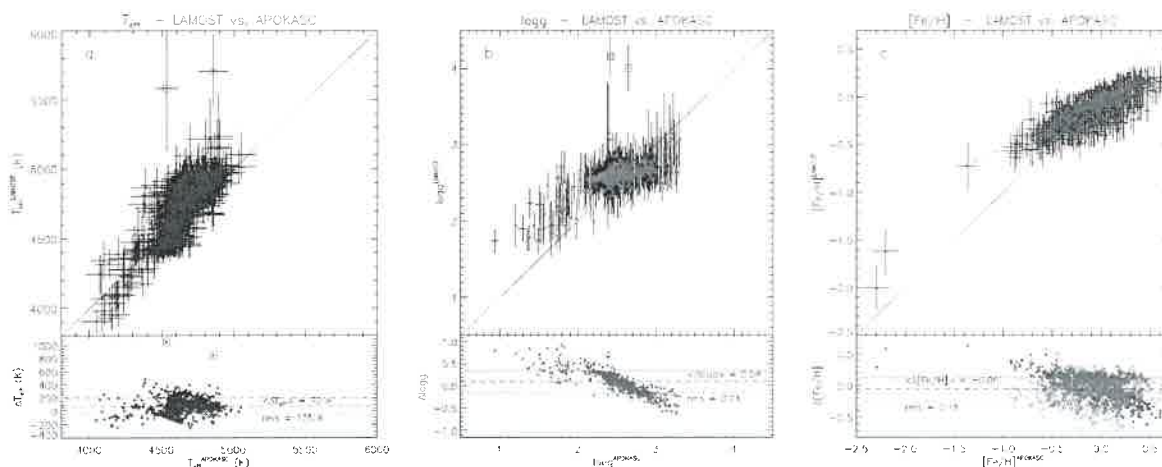
W pracy **H12** dokonaliśmy wizualnej weryfikacji jakości wszystkich 101 086 widm. Do dalszej

*Joanna Molenda-Zakowicz*

analizy zakwalifikowaliśmy 61 753 widm (61% całej próbki). Widma te zostały następnie znormalizowane do poziomu kontinuum. Z tak przygotowanych obserwacji wyznaczone zostały wartości  $T_{\text{eff}}$ ,  $\log g$ ,  $[\text{Fe}/\text{H}]$ ,  $RV$ ,  $v \sin i$ , typ widmowy i klasa jasności 51 385 gwiazd. Dla ogromnej większości tych gwiazd wyniki publikowane w pracy **H12** stanowią pierwsze spektroskopowe wyznaczenia parametrów atmosferycznych i kinematycznych. Wcześniejsze wyznaczenia  $T_{\text{eff}}$ ,  $\log g$  i  $[\text{Fe}/\text{H}]$  uzyskane ze spektroskopii średniej lub wysokiej rozdzielczości znane były jedynie dla około tysiąca gwiazd z naszej próbki, w tym dla 787 gwiazd zostały one wyznaczone przez Pinsonneault i in. (2014). Porównanie wyników opublikowanych w pracy **H12** z wartościami z literatury pokazuje dobrą zgodność wartości  $T_{\text{eff}}$  (il. 7 i 8, panele *a*). W przypadku  $\log g$  i  $[\text{Fe}/\text{H}]$  (il. 7 i 8, panele *b* i *c*), widać wyraźne trendy, wynikające z nie dość gęstej siatki parametrów atmosferycznych gwiazd referencyjnych, czyli gwiazd, których widma zawarte są w bibliotece Indo-US (Valdes i in. 2004) wykorzystywanej w programie ROTFIT. Ostateczne wyniki opublikowane w pracy **H12** są poprawione na te trendy.



Ilustracja 7: Porównanie parametrów atmosferycznych wyznaczonych z obserwacji LAMOST z wartościami znanymi z literatury. Linia przerywaną na panelu c zaznaczone jest liniowe dopasowanie do danych. Źródło: praca **H12**, rys. 5.



Ilustracja 8: To samo co na il. 7 dla gwiazd wspólnych z projektem APOKASC (Pinsonneault i in. 2014). Źródło: praca **H12**, rys. 6.

Analiza statystyczna wartości  $[\text{Fe}/\text{H}]$  wyznaczonych w pracy **H12** wykazała, że gwiazdy z pola



*Keplera* mają typową metaliczność bliższą słonecznej niż wynika to z KIC. Średnia i mediana  $[\text{Fe}/\text{H}]$  tych gwiazd wyliczona po usunięciu trendu to, odpowiednio,  $-0.05$  i  $+0.02$  dex, podczas gdy dla KIC wielkości te wynoszą  $-0.17$  i  $-0.13$  dex. Idący za tym wniosek, że wartości  $[\text{Fe}/\text{H}]$  w KIC są zaniżone, jest spójny z wynikami uzyskanymi przez nas dla gwiazd omawianych w pracach **H1**, **H2** i **H5**. Znajduje on również potwierdzenie w analizie metaliczności gwiazd, dla których Huber i in. (2014) podają spektroskopowe wartości  $[\text{Fe}/\text{H}]$ : ich średnia i mediana wynoszą, odpowiednio,  $-0.02$  i  $-0.01$  dex, i są wyższe od wartości charakteryzujących pełen zestaw danych analizowanych przez tych autorów (odpowiednio,  $-0.19$  i  $-0.16$  dex), który jest zdominowany przez obserwacje fotometryczne.

W pracy **H12** zbadaliśmy także aktywność chromosferyczną gwiazd obserwowanych instrumentem LAMOST. Analizę tę rozpoczęliśmy od wyselekcjonowania 547 gwiazd wykazujących emisję lub wypełnienie linii  $\text{H}\alpha$ . Selekcja kandydatek następowała poprzez odjęcie od widma każdej z gwiazd programowych widma jednej z wcześniej wspomnianych gwiazd referencyjnych, które miało parametry atmosferyczne najbardziej zbliżone do tych wyznaczonych programem ROTFIT dla gwiazdy programowej. Następnie dla każdego z otrzymanych residuów wyliczyliśmy szerokość równoważną emisji widocznej w pobliżu położenia linii  $\text{H}\alpha$  ( $EW^{\text{res}}_{\text{H}\alpha}$ ). Gwiazdy, dla których wartości  $EW^{\text{res}}_{\text{H}\alpha}$  przekraczały próg  $1 \text{ \AA}$  dla gwiazd o  $T_{\text{eff}} \geq 5000 \text{ K}$  i  $0,3 \text{ \AA}$  dla gwiazd o  $T_{\text{eff}} < 5000 \text{ K}$  i  $\log g > 3,0$  dex, klasyfikowaliśmy jako kandydatki na gwiazdy emisyjne. Następnie dla gwiazd o  $T_{\text{eff}} < 6000 \text{ K}$  przeprowadziliśmy analogiczną analizę linii Ca II IRT przypadających na  $8498$ ,  $8542$  i  $8662 \text{ \AA}$ . W rezultacie wyłoniliśmy 442 gwiazdy o  $T_{\text{eff}} < 6000 \text{ K}$ , które zaklasyfikowaliśmy jako aktywne chromosferycznie.

Zgodnie z zamierzeniami projektu LAMOST-*Kepler*, wyniki przedstawione w pracach **H11** i **H12** zostały wykorzystane w badaniach innych autorów. Należą do nich, np., Karoff i in. (2016), którzy zbadali gwiazdy wykazujące super-rozbyłski, Gaidos i in. (2016), którzy zbadali własności karłów typu widmowego M i ich planet, Mulders i in. (2016), którzy zbadali metaliczność gwiazd posiadających gorące planety skaliste, Murphy i in. (2016), którzy przeprowadzili analizę planety znajdującej się w pobliżu ekosfery KIC 7917485, czy Bostanci i in. (2015), którzy wyznaczyli metaliczność gromady otwartej NGC 6866.

## GROMADY OTWARTE W POLU KEPLERA

Badaniom gromad otwartych w polu *Keplera* poświęciłam osobną część moich wysiłków. Skupiłam się na NGC 6811 i NGC 6866, dla których w literaturze naukowej było stosunkowo niewiele informacji. Pierwsza z nich, NGC 6811, została omówiona w pracy **H10**, w której przedstawione są wyniki obserwacji spektroskopowych średniej rozdzielczości ( $R = 25\,000$ ) uzyskanych za pomocą spektrografu FIES na Nordic Optical Telescope dla 15 jasnych gwiazd zaklasyfikowanych w literaturze jako prawdopodobnie należące do tej gromady. Stosując programy ROTFIT, IRAF i własne procedury wyznaczyłam parametry atmosferyczne i kinematyczne ( $RV$ ,  $v \sin i$ ) tych gwiazd. W rezultacie moich obliczeń, potwierdziłam że osiem gwiazd programowych z dużym prawdopodobieństwem należy do NGC 6811, trzy nie są jej członkami, a status członkostwa w gromadzie pozostałych czterech gwiazd jest niejasny. Następnie, używając gwiazd o największym prawdopodobieństwie przynależności do gromady, wyliczyłam średnią prędkość radialną NGC 6811 ( $RV = +6.68 \pm 0.08 \text{ km s}^{-1}$ ) i jej średnią metaliczność ( $[\text{Fe}/\text{H}] = +0.04 \pm 0.01$  dex). Analizując skład chemiczny pięciu gwiazd typu widmowego G należących do zleпка czerwonych

olbrzymów, wykazaliśmy że obfitości większości pierwiastków w tych gwiazdach są zbliżone do słonecznych. Wyjątkiem okazał się bar, którego obfitość jest wyraźnie większa. Następnie, korzystając z obserwacji fotometrycznych dostępnych w literaturze, wyznaczyliśmy wiek NGC 6811 ( $1.0 \pm 0.1$  Gyr) i jej poczerwienienie międzygwiazdowe ( $E(B - V) = 0.05 \pm 0.02$  mag). Wykorzystaliśmy też obserwacje *Keplera*, które posłużyły nam do wyznaczenia mas i promieni pięciu gwiazd należących do zleпка czerwonych olbrzymów (*red clump*, RC). Dwie z tych gwiazd, NGC 6811 471 i 483 (numery z bazy danych WEBDA<sup>5</sup>), zostały po raz pierwszy zaklasyfikowane jako RC w pracy **H10**.

Wyniki uzyskane w pracy **H10** przyczyniły się następnie do dyskusji bardziej ogólnego problemu precyzji wyznaczania temperatur efektywnych gwiazd. Jest to zagadnienie, które wciąż wymaga pracy, gdyż, jak pokazują Brogaard i in. (2015), zgodność wartości  $T_{\text{eff}}$  otrzymywanych dla tych samych gwiazd z różnych zestawów obserwacji i/lub przy zastosowaniu różnych metod jest niezadowolająca. Jako przykład takich rozbieżności, Brogaard i in. (2015) podają gwiazdy należące do zleпка czerwonych olbrzymów w gromadach NGC 6811 i NGC 6819, dla których wartości  $T_{\text{eff}}$  wyznaczone metodami spektroskopowymi w pracach **H10** i Bragaglia i in. 2001, są wyższe niż  $T_{\text{eff}}$ , które wynikają z analizy asterosejsmicznej.

Druga z badanych przeze mnie gromad otwartych, NGC 6866, była obserwowana fotometrycznie w Obserwatorium Astronomicznym Uniwersytetu Wrocławskiego w Białkowie. Obserwacje te zostały wykonane w roku 2007 z zamiarem zbadania zmienności gwiazd należących do tej gromady i wybrania celów asterosejsmicznych dla *Keplera*. W pracy **H3** donosimy o odkryciu 19 gwiazd zmiennych w NGC 6866, w tym trzech gwiazd pulsujących typu  $\delta$  Sct i dwóch gwiazd pulsujących typu  $\gamma$  Dor, które znalazły się na liście celów asterosejsmicznych *Keplera*. Ponadto, odkryliśmy cztery gwiazdy zmienne typu W UMa, dwie gwiazdy zmienne elipsoidalne, jedną gwiazdę zmienną zaćmieniową i siedem gwiazd zmiennych nieregularnych, a także dwóch błękitnych maruderów. Niestety, odkryte przez nas gwiazdy  $\delta$  Sct okazały się być bardzo szybkimi rotatorami ( $v \sin i > 200$  km s<sup>-1</sup>, Catanzaro i in. 2011) i jako takie przestały być obiektami priorytetowymi do analizy asterosejsmicznej (dr Hans Bruntt, informacja prywatna), gdyż modelowanie asterosejsmiczne szybko rotujących gwiazd wciąż pozostaje dużym wyzwaniem (zob. np. Deupree i in. 2012; García i in. 2012; Georgy i in. 2013; Pigulski i in. 2016). Częstości zmienności gwiazd w NGC 6866 opublikowane w pracy **H3** oraz zaproponowana tam klasyfikacja do typów zmienności okazały się spójne z wynikami analizy obserwacji tych gwiazd teleskopem *Kepler* (Catanzaro i in. 2011; Uytterhoeven i in. 2011; Balona i in. 2013). Wyjątkiem okazała się gwiazda KIC 8264061 (V13 w pracy **H3**), którą zaklasyfikowaliśmy jako zmienną nieregularną. Dopiero fotometria *Keplera* i dodatkowe obserwacje naziemne wykazały, że jest to gwiazda pulsująca typu  $\gamma$  Dor (Uytterhoeven i in. 2011; Joshi i in. 2012; Balona i in. 2013).

W pracy **H3** przedyskutowaliśmy również własności gromad otwartych zawierających gwiazdy pulsujące typu  $\gamma$  Dor (w czasie pisania wspomnianej pracy znanych było 19 gromad otwartych zawierających od jednej do czterech gwiazd typu  $\gamma$  Dor i jedna gromada otwarta, NGC 2506, zawierająca 15 gwiazd tego typu), potwierdzając wniosek z pracy Eyera i in. (2002), że fakt występowania gwiazd typu  $\gamma$  Dor w gromadzie otwartej nie jest skorelowany z jej wiekiem. Wykazaliśmy też, że obecność gwiazd  $\gamma$  Dor w gromadach otwartych nie jest skorelowana ze średnią metalicznością gromady. W tej dyskusji zwróciliśmy uwagę na fakt, że dla części gwiazd

5 <http://www.univie.ac.at/webda>

typu  $\gamma$  Dor ich przynależność do odpowiednich gromad otwartych jest wątpliwa, a pulsacyjny charakter zmienności niepewny, co sprawia, że wnioski płynące z analizy takiego materiału obserwacyjnego są obciążone dużą dozą niepewności.

## RZUTOWANE RÓWNIKOWE PRĘDKOŚCI ROTACJI GWIAZD W POLU KEPLERA

Wśród parametrów, które wyznaczałam podczas analizy widm gwiazd badanych w pracach **H1**, **H2**, **H5**, **H7**, **H9**, **H10** i **H12** znajdowała się wartość rzutowanej równikowej prędkości rotacji,  $v \sin i$ . Jest to parametr, który musi być brany pod uwagę podczas analizy i interpretacji widma gwiazdy i który może być używany np. jako dyskryminator pozwalający usuwać z próbki gwiazdy, których  $v \sin i$  jest za duże dla analizy asterosejsmicznej i nadawać większy priorytet gwiazdom rotującym wolno (tu trzeba pamiętać, że nawet jeśli wartość  $v \sin i$  jest niska, gwiazda może rotować szybko i być widziana od strony bieguna).

Wśród odkrytych przez nas w pracach **H5** i **H7** gwiazd o bardzo małych wartościach  $v \sin i$  jak na swój typ widmowy znajdują się KIC 4276892 (HIP 96762<sup>6</sup>, typ widmowy B9,  $v \sin i = 10 \text{ km s}^{-1}$ ), KIC 6128830 (HIP 96210, typ widmowy B6,  $v \sin i = 15 \text{ km s}^{-1}$ ), KIC 6848529 (HIP 93941, typ widmowy B2,  $v \sin i = 10 \text{ km s}^{-1}$ ), KIC 8740371 (HIP 93522, typ widmowy A7,  $v \sin i = 5 \text{ km s}^{-1}$ ) i KIC 12253106 (HIP 93943, typ widmowy Am,  $v \sin i = 13 \text{ km s}^{-1}$ ). Ta ostatnia gwiazda została potwierdzona przez Catanzaro i in. (2015) jako jedna z 15 gwiazd typu widmowego Am znajdujących się w polu *Keplera*. Smalley i in. (2011) klasyfikują KIC 12253106 jako gwiazdę pulsującą o amplitudzie mniejszej niż 0.01 mag, zaś Balona i in. (2015) klasyfikują tę gwiazdę jako zmienną rotacyjnie. Dwie kolejne gwiazdy z tej listy również są chemicznie osobliwe. W KIC 6128830 odkryliśmy nadwyżkę obfitości węgla, tlenu i wszystkich pierwiastków grupy żelaza, w szczególności manganu, a w KIC 6848529, nadwyżkę obfitości krzemu, chromu, wapnia, tytanu i żelaza, oraz niedobór obfitości magnezu. Drugą z tych gwiazd zaklasyfikowaliśmy jako He-weak.

Dość dużą grupę 4031 gwiazd o  $v \sin i \geq 120 \text{ km s}^{-1}$  odkryliśmy w obserwacjach wykonanych instrumentem LAMOST (praca **H12**). W pracy tej  $120 \text{ km s}^{-1}$  zostało przyjęte przez nas za dolną granicę  $v \sin i$ , jaką można wyznaczyć z obserwacji uzyskanych tym instrumentem. Trzeba jednak pamiętać, że z uwagi na niską rozdzielczość analizowanych obserwacji ( $R \sim 1800$ ) dla części gwiazd wyznaczona przez nas wartość  $v \sin i$  może wynikać ze zlania się linii widmowych pochodzących od składników nierozdzielonego układu spektroskopowo podwójnego typu SB2.

Wartości  $v \sin i$  opublikowane w pracach **H7** i **H9** zostały użyte w pracy Tayar i in. (2015) do modelowania populacji gwiazdowych i badań gwiazd w bliskich układach podwójnych. Autorzy ci wykazali, że dla tych czerwonych olbrzymów z pola *Keplera*, dla których została przeprowadzona analiza asterosejsmiczna, liczba wykrytych układów podwójnych o wiele mniejsza od oczekiwanej, a przez to niereprezentatywna dla gwiazd pola. Tayar i in. (2015) wskazują też na fakt, że wartości  $v \sin i$  otrzymane w pracach **H7** i **H9** są w bardzo dobrej zgodności z wynikami ich analizy, podczas gdy wartości z pracy Bruntt i in. (2012) są systematycznie wyższe średnio o 4.1 km/s.

<sup>6</sup> Tu i w kolejnych wystąpieniach: numery spoza katalogu KIC podaję w sytuacji gdy w odpowiednich publikacjach numery KIC nie były używane lub nie były głównym systemem nazewnictwa gwiazd.

## PRĘDKOŚCI RADIALNE GWIAZD W POLU KEPLERA

Prędkości radialne, które wyznaczałam z każdego widma naszych obserwacji, w ogromnej większości przypadków były pierwszymi wyznaczeniami  $RV$  badanych gwiazd. Ponieważ dla każdej z gwiazd wymienionych w pracach **H1**, **H2**, **H5**, **H7**, **H9**, **H10** i **H12** wyznaczone przeze mnie prędkości radialne porównywałam z wartościami dostępnymi w literaturze, odkryłam gwiazdy wykazujące zmienność  $RV$  również wśród obiektów, dla których dysponowałam pojedynczą obserwacją.

W rezultacie mojej analizy odkryłam dziewięć gwiazd spektroskopowo podwójnych z podwójnymi liniami w widmie (SB2): KIC 3641446 (HIP 95115), KIC 3858884 (HIP 96299), KIC 4150611 (HIP 94924), KIC 7234899 (HIP 98551), KIC 8379927 (HIP 97321), KIC 9594100 (NGC 6811-173), KIC 9655187 (NGC 6811-68), KIC 9693187 i KIC 11179629, osiem gwiazd spektroskopowo podwójnych z pojedynczymi liniami w widmie (SB1): KIC 3632418 (HIP 94112), KIC 4581434 (HIP 97254), KIC 4681323 (HIP 97724), KIC 4914923 (HIP 94734), KIC 7599132, KIC 9716667 (NGC 6811-218), KIC 11031993 (HIP 96062) i KIC 12106961 (HIP 94743) oraz siedem gwiazd podejrzanych o bycie układami spektroskopowo podwójnymi z pojedynczymi liniami w widmie (SB1?): KIC 4276892 (HIP 96762), KIC 8539201 (HIP 92132), KIC 9594857 (NGC 6811-489), KIC 9655101 (NGC 6811-24), KIC 10960750 (HIP 92637), KIC 10604429 (HIP 96277) i KIC 11775000 (HIP 97513).

Użyteczność informacji o spektroskopowej podwójności gwiazdy jest wieloraka. Dzięki niej można selekcjonować gwiazdy do analizy asterosejsmicznej i np. odsiewać te, których obserwacje mogą być trudne do interpretacji. Dotyczy to w szczególności gwiazd typu SB2, w których drugi składnik jest dość jasny, by dawać znaczący wkład do krzywej blasku. To utrudnia wyznaczanie parametrów atmosferycznych i analizę widma częstości, zwłaszcza gdy oba składniki wykazują zmienność pulsacyjną (zob. np. Bruntt i in. 2012; Miglio i in. 2014). Z drugiej strony, badanie rozdzielonych układów zaćmieniowych typu SB2 jest bardzo ważne, ponieważ pozwalają one na empiryczne wyznaczenia masy i promieni z wysoką dokładnością (zob. np. Matson i in. 2016). W tym kontekście, wśród odkrytych przez nas gwiazd typu SB2 szczególnie interesującą okazała się KIC 3858884 (HIP 96299), która jest gwiazdą zaćmieniową typu Algola, znajdującą się na liście 190 dobrze zbadanych rozdzielonych układów zaćmieniowych (Southworth 2015)<sup>7</sup>. Ponieważ jeszcze przed naszymi obserwacjami była ona podejrzewana o bycie układem typu SB2, została zgłoszona do obserwacji teleskopem *Kepler* w krótkiej kadencji przez KASC (aplikacja dr Hansa Bruntta i dr Johna Southwortha z sierpnia 2008). Jeśli chodzi o układy typu SB1, najdokładniej zbadaną przez nas gwiazdą jest KIC 12106961 (HIP 94743), zaklasyfikowana w pracy Kazarovets i in. (1999) jako E:, czyli podejrzana wykazywanie zaćmień w fotometrii Hipparcosa (ESA 1997). Na podstawie tej samej fotometrii uzyskanej instrumentem Hipparcos, w pracy **H1** wykazaliśmy, że KIC 12106961 jest układem zaćmieniowym rozdzielonym.

## EKSTYNKCJA MIĘDZYGWIAZDOWA W POLU KEPLERA

Ostatnim zagadnieniem, które badałam w moich pracach, była ekstynkcja międzygwiazdowa w polu *Keplera*. Katalog KIC zawiera wartości  $E(B - V)$  wyliczone zgodnie z modelem ekstynkcji zakładającym gładki, wertykalnie eksponencyjalny dysk pyłowy o skali wysokości  $H = 150$  pc i

<sup>7</sup> <http://www.astro.keele.ac.uk/jkt/debcat/>

gęstości ekstynkcji znormalizowanej do 1 mag na kpc w pasmie  $V$  na szerokości galaktycznej  $b = 0$ . W modelu tym poczerwienienie międzygwiazdowe jest parametryzowane odległością od Słońca i szerokością galaktyczną (Zasowski i in. 2015; Brown i in. 2011). Wartości  $E(B - V)$  wyliczone z tego modelu zawierają się typowo w przedziale 0.05 – 0.18 mag, są one jednak niedokładne.

Niedokładności wartości  $E(B - V)$  z KIC zostały po raz pierwszy wykazane w pracy **H4**, w której przedstawiliśmy wyniki wykonanych przez mnie obserwacji fotoelektrycznych 29 gwiazd programowych i 28 gwiazd standardowych (tabela 7 w pracy **H4**). W obserwacjach tych użyłam filtrów  $uvby\beta$  Strömghrena i  $UBV$  Johnsona. Analiza zebranych danych wykazała, że gwiazdy programowe są niepoczerwienione, podczas gdy katalog KIC dla niektórych z nich podaje wartości  $E(B - V)$  wynoszące nawet 0.06 mag. Konkluzją była konieczność weryfikacji wartości  $E(B - V)$  podanych w katalogu KIC dla pozostałych gwiazd. Prace nad wyznaczeniem poczerwienienia międzygwiazdowego gwiazd z pola *Keplera* okazały się jednak trudne. Obserwacje fotometryczne przeprowadzone w kolejnych latach w kilku obserwatoriach w ramach projektu kierowanego przez dr Katrien Uytterhoeven (Uytterhoeven i in. 2010), którego celem było wyznaczenie  $E(B - V)$  w kilkunastu wybranych obszarach pola *Keplera*, a w którym brałam udział jako jedna z kilku obserwatorów, nie przyniosły spodziewanego rezultatu z powodu problemów sprzętowych, pogodowych i logistycznych. W rezultacie projekt ten nie został ukończony.

Sukcesem za to okazał się projekt SAGA kierowany przez dr Luca Casagrande. Casagrande i in. (2014) wykazali, że wartości  $E(B - V)$  z KIC są rosnąco zawyżane wraz ze wzrostem nadwyżki barwy oraz że dla gwiazd słabych i dla tych położonych daleko, wzrasta prawdopodobieństwo, że wartości  $E(B - V)$  z KIC będą niewłaściwe. Jeszcze bardziej niepokojące wyniki publikują Pinsonneault i in. (2014), którzy pokazują, że nawet przyjęcie absurdalnego założenia, że wszystkie gwiazdy z pola *Keplera* są niepoczerwienione (czyli że  $E(B - V) = 0$ ) jest lepsze, niż przyjmowanie wartości nadwyżek barwy z KIC. Znaczne zawyżenie wartości  $E(B - V)$  w KIC zostało wykazane również przez Zasowskiego i in. (2015). Wszystkie te publikacje te potwierdzają, że problem z wartościami nadwyżek barwy gwiazd z pola *Keplera* podanych w KIC, który został zasygnalizowany w pracy **H4**, jest fundamentalnym problemem tego katalogu.

#### AKTUALNIE WYKONYWANE ZADANIA I PRZYSZŁE PLANY BADAWCZE:

Moje obecnie wykonywane zadania badawcze dotyczą kontynuacji charakterystyki gwiazd z pola *Keplera*. Po zakończeniu pierwszej rundy obserwacji wykonanych w ramach projektu LAMOST-*Kepler*, opisanego w pracach **H11** i **H12**, obecnie prowadzona jest druga runda obserwacji instrumentem LAMOST. Jej celem jest uzyskanie widm tych gwiazd, które nie zostały zaobserwowane w rundzie pierwszej lub których widma miały niski stosunek sygnału do szumu, a które mają obserwacje wykonane teleskopem *Kepler*. Obserwacje wykonane w roku 2015 są już w naszej dyspozycji. Z uwagi na złe warunki pogodowe, pole *Keplera* nie było obserwowane w roku 2016. Kolejnym sezonem, w którym liczymy na kontynuację obserwacji w ramach projektu LAMOST-*Kepler*, będzie lato 2017 r.

Moje przyszłe plany badawcze dotyczą szczegółowej analizy spektroskopowej i asterosejsmicznej gwiazd typu  $\lambda$  Boo. Gwiazdy te tworzą małą podgrupę (około 2%) gwiazd chemicznie osobliwych leżących w górnej części ciągu głównego i mających typy widmowe od późnych B do wczesnych F. Osobliwości chemiczne gwiazd typu  $\lambda$  Boo charakteryzują się wyraźnie obniżonymi obfitościami większości pierwiastków z grupy żelaza a zarazem bliskimi słonecznymi obfitościami pierwiastków

lotnych C, N, O and S. Uważa się, że gwiazdy typu  $\lambda$  Boo są obiektami ciągu głównego lub przed ciągiem głównym, których osobliwy skład chemiczny bierze się z akrecji mało-metalicznej materii pochodzącej z ośrodka międzygwiazdowego. Rozważane są też hipotezy o interakcji gwiazdy z dyskiem protoplanetarnym lub z planetami. Istnieją jednak gwiazdy, których istnienie nie pasuje do tego obrazu. W rezultacie więc, pomimo intensywnych badań, natura, pochodzenie i status ewolucyjny gwiazd typu  $\lambda$  Boo wciąż pozostaje zagadką (zob. Murphy i Paunzen 2017).

W celu szczegółowego zbadania własności gwiazd należących do tej klasy chemicznej osobliwości, pod koniec roku 2016 zorganizowałam międzynarodową grupę badawczą, w skład której wchodzi dr Ewa Niemczura i dr Przemysław Walczak z Uniwersytetu Wrocławskiego, dr Simon Murphy (University of Sydney, Australia), dr Joyce Guzik (Los Alamos National Laboratory, USA), dr Juan Carlos Suárez, dr Antonio García Hernández i dr Andy Moya (Universidad de Granada, Instituto de Astrofísica de Andalucía, Hiszpania), dr Christopher J. Corbally (Vatican Observatory Research Group, Steward Observatory, USA), dr Richard Gray (Appalachian State University, USA), dr Peter De Cat (Royal Observatory of Belgium, Belgia), dr Javier Pascual-Granado (Instituto de Astrofísica de Andalucía, Hiszpania) i dr Drew Chojnowski (New Mexico State University, USA). W grupie tej planujemy użyć fotometrii zebranej przez misje kosmiczne *Kepler* i TESS (TESS ma zostać wyniesiony na orbitę w marcu 2018 r.), spektroskopii naziemnej niskiej i wysokiej rozdzielczości oraz nowoczesnych technik asterosejsmicznych, by poszukać odpowiedzi na pytanie, czy chemiczne osobliwości obserwowane w gwiazdach typu  $\lambda$  Boo ograniczają się do powierzchni, czy też kontynuują się w głąb gwiazdy. Dotychczas złożone przeze mnie aplikacje o czas obserwacyjny w roku 2017 dotyczą 66 gwiazd typu  $\lambda$  Boo, które chcemy zaobserwować za pomocą spektrografu wysokiej rozdzielczości na teleskopie SALT i 14 gwiazd typu  $\lambda$  Boo, które chcemy zaobserwować za pomocą spektrografu ARCHES zainstalowanego na 3,5-m teleskopie w obserwatorium Apache Point Observatory (USA) oraz spektrografu wysokiej rozdzielczości na 2-m teleskopie w Obserwatorium Rozhen (Bułgaria). Wnioski o czas obserwacyjny na SALT i ARCES są w fazie rozpatrywania. Wniosek złożony w Obserwatorium Rozhen został zaakceptowany. W celu finansowania tych badań złożyłam też wniosek o finansowanie projektu badawczego w ramach konkursu OPUS-12 (wniosek w fazie rozpatrywania).

## PODSUMOWANIE

Wyniki mojej pracy polegającej na naziemnych obserwacjach celów asterosejsmicznych *Keplera*, ich analizie i interpretacji, opublikowane w serii publikacji **H1**, **H2**, **H3**, **H4**, **H5**, **H6**, **H7**, **H8**, **H9**, **H10**, **H11** i **H12** wybranych do niniejszej rozprawy habilitacyjnej, a także moje prace badawczo-organizacyjne w Konsorcjum Asterosejsmicznym *Keplera* KASC (praca **H6**) i w koordynowanym przeze mnie projekcie europejskim ASK (prace **H11** i **H12**) dostarczyły informacji niezbędnych do konstruowania modeli asterosejsmicznych tych gwiazd. Moje prace koncentrowały się na wyznaczaniu parametrów atmosferycznych ( $T_{\text{eff}}$ ,  $\log g$ ,  $[\text{Fe}/\text{H}]$ ) i kinematycznych ( $RV$ ,  $v \sin i$ ) celów asterosejsmicznych *Keplera*, ale uwzględniały również zagadnienia takie jak ekstynkcja międzygwiazdowa w polu *Keplera*, badanie zmienności gwiazd w gromadach otwartych i poszukiwanie gwiazd aktywnych chromosferycznie. Przedstawione przeze mnie prace są regularnie cytowane, a precyzja przedstawionych tam pomiarów nie odbiega od tej, która jest otrzymywana przez inne grupy badawcze korzystające z innych danych obserwacyjnych i metod analizy.

Parametry atmosferyczne zostały przez nas wyznaczone dla 51 711 gwiazd (z czego dla 51 385 gwiazd w pracy **H12**). Dla ogromnej większości tych obiektów było to pierwsze jednoczesne

wyznaczenie wszystkich parametrów atmosferycznych z obserwacji spektroskopowych. Dzięki przeglądowi spektroskopowemu opisanemu w pracy **H11** zrealizowanemu w ramach projektu LAMOST-Kepler, w pracy **H12** wykazaliśmy, że typowa metaliczność gwiazd z pola Keplera jest bliska słonecznej, co skorygowało informację, jaką można uzyskać z KIC.

Jednocześnie z parametrami atmosferycznymi, w przeprowadzanej przeze mnie analizie wyznaczałam wartości  $v \sin i$ . Dla większości badanych gwiazd były to pierwsze wyznaczenia  $v \sin i$  dostępne w literaturze. W pracach **H5** i **H7** odkryliśmy pięć gwiazd mających bardzo niskie wartości  $v \sin i$  jak na swój typ widmowy ( $v \sin i \leq 13 \text{ km s}^{-1}$ ), co czyni je obiecującymi obiektami dla analizy asterosejsmicznej. Obserwacje wykonane instrumentem LAMOST (praca **H12**) pozwoliły nam odkryć ponad cztery tysiące gwiazd, dla których  $v \sin i \geq 120 \text{ km s}^{-1}$ .

Szczegółowa analiza obfitości pierwiastków w atmosferach naszych gwiazd programowych pozwoliła nam na odkrycie dwóch gwiazd chemicznie osobliwych (He-weak i Am, praca **H5**), pięciu gwiazd typu G8 III w gromadzie otwartej NGC 6811, które wykazują nadwyżkę obfitości baru (praca **H10**) oraz 442 gwiazd wykazujących aktywność chromosferyczną (praca **H12**). Praca **H10** donosi również o odkryciu dwóch gwiazd należących do zleпка czerwonych olbrzymów (*red clump*) w gromadzie otwartej NGC 6811, a praca **H12**, o jednej gwiazdzie pola, która najprawdopodobniej jest młodym obiektem wciąż akreującym materię.

Prędkości radialne, które wyznaczałam z każdego widma w pracach **H1**, **H2**, **H5**, **H7**, **H9**, **H10** i **H12** pozwoliły nam odkryć dziewięć gwiazd spektroskopowo podwójnych z podwójnymi liniami w widmie (SB2), osiem gwiazd spektroskopowo podwójnych z pojedynczymi liniami w widmie (SB1) i siedem gwiazd podejrzanych o bycie układami typu SB1. Stosunkowo niewielki odsetek gwiazd, dla których została odkryta zmienność prędkości radialnej, wynikał z tego, że dla większości gwiazd programowych uzyskane zostało tylko jedno widmo oraz z faktu, że z powodu niskiej rozdzielczości widm uzyskanych instrumentem LAMOST ( $R \sim 1800$ ), amplituda  $RV$  musiała wynosić co najmniej  $50 \text{ km s}^{-1}$  przy niepewności pomiaru  $RV$  mniejszej niż  $20 \text{ km s}^{-1}$ , aby można było wykryć zmienność  $RV$ .

Część z badanych przeze mnie gwiazd była obserwowana fotometrycznie za pomocą instrumentów naziemnych. Była wśród nich gromada otwarta NGC 6866 i 29 gwiazd pola. Dzięki tym obserwacjom, w pracy **H3** odkryliśmy 19 gwiazd zmiennych w polu gromady NGC 6866: trzy gwiazdy pulsujące typu  $\delta$  Sct, dwie gwiazdy pulsujące typu  $\gamma$  Dor, cztery gwiazdy zmienne typu W UMa, dwie gwiazdy zmienne elipsoidalne, jedną gwiazdę zmienną zaćmieniową i siedem gwiazd zmiennych nieregularnych, a także dwóch błękitnych maruderów. Pokazaliśmy też, że ani wiek ani metaliczność gromady otwartej nie jest skorelowana z faktem występowania w nich gwiazd pulsujących typu  $\gamma$  Dor. Odkryte przez nas gwiazdy pulsujące zostały włączone do listy celów asterosejsmicznych Keplera. Obserwacje uzyskane przeze mnie dla 29 gwiazd z pola Keplera w Obserwatorium Astrofizycznym Katanii za pomocą fotometru fotoelektrycznego i przedyskutowane w pracy **H4** pozwoliły nam wykazać, że nasze gwiazdy programowe są niepoczerwienione.

Osiągnięciem, które wieńczy moją pracę jest pokrycie całego pola widzenia Keplera zbiorem jednorodnych spektroskopowych obserwacji, które pozwoliły na spójną analizę własności gwiazd z tego obszaru nieba (prace **H11** i **H12**), dając możliwość weryfikacji i uzupełnienia zawartości katalogu KIC oraz otwierając nowe możliwości badań gwiazd z pola widzenia tego teleskopu.

Odnosiniki do literatury:

- Alvan L. i in. 2015 „*Characterizing the propagation of gravity waves in 3D nonlinear simulations of solar-like stars*”, *Astronomy & Astrophysics*, 581, 112
- Antoci V. i in. 2014 „*The Role of Turbulent Pressure as a Coherent Pulsational Driving Mechanism: The Case of the  $\delta$  Scuti Star HD 187547*”, *Astrophysical Journal*, 796, 118
- Appourchaux T. i in. 2008 „*CoRoT sounds the stars: p-mode parameters of Sun-like oscillations on HD 49933*”, *Astronomy & Astrophysics*, 488, 705
- Appourchaux T. i in. 2012 „*Oscillation mode linewidths of main-sequence and subgiant stars observed by Kepler*”, *Astronomy & Astrophysics*, 537, 134
- Appourchaux T. i in. 2014 „*Oscillation mode linewidths and heights of 23 main-sequence stars observed by Kepler*”, *Astronomy & Astrophysics*, 566, 20
- Balona L. i in. 2013 „*Pulsation and rotation of Kepler stars in the NGC 6866 field*”, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 429, 1466
- Balona L. i in. 2015 „*Spots on Am stars*”, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 448, 1378
- Batalha N. i in. 2010 „*Selection, Prioritization, and Characteristics of Kepler Target Stars*”, *Astrophysical Journal Letters*, 713, L109
- Benkó J. M. i Szabó R. 2015 „*The Blazhko effect and additional excited modes in RR Lyrae stars*”, *Astrophysical Journal Letters*, 809, L19
- Borkovits T. i in. 2013 „*Dynamical masses, absolute radii and 3D orbits of the triply eclipsing star HD 181068 from Kepler photometry*”, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 428, 1656
- Borucki W. i in. 2010 „*Kepler Planet-Detection Mission: Introduction and First Results*”, *Science*, 327, 977
- Bostanci Z. F. i in. 2015 „*A comprehensive study of the open cluster NGC 6866*”, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 453, 1095
- Bradley P. i in. 2015 „*Results of a Search for  $\gamma$  Dor and  $\delta$  Sct Stars with the Kepler Spacecraft*”, *Astronomical Journal*, 149, 68
- Bragaglia A. i in. 2001 „*Metal Abundances of Red Clump Stars in Open Clusters. I. NGC 6819*”, *Astronomical Journal*, 121, 327
- Brogaard K. i in. 2015 „*Exploiting the Open Clusters in the Kepler and CoRoT Fields*”, *Asteroseismology of Stellar Populations in the Milky Way*, *Astrophysics and Space Science Proceedings*, Vol. 39, str. 51
- Brown T. M. i in. 2011 „*Kepler Input Catalog: Photometric Calibration and Stellar Classification*”, *Astronomical Journal*, 142, 112
- Brun A. S. i in. 2015 „*The Solar-Stellar Connection*”, *Space Science Reviews*, 196, 303
- Bruntt H. i in. 2012 „*Accurate fundamental parameters and detailed abundance patterns from spectroscopy of 93 solar-type Kepler targets*”, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 423, 122
- Casagrande L. i in. 2010 „*An absolutely calibrated  $T_{\text{eff}}$  scale from the infrared flux method. Dwarfs and subgiants*”, *Astronomy & Astrophysics*, 512, 54
- Casagrande L. i in. 2014 „*Strömgren Survey for Asteroseismology and Galactic Archaeology: Let the SAGA Begin*”, *Astrophysical Journal*, 787, 110
- Catanzaro G. i in. 2010 „*Characterization of Kepler early-type targets*”, 2010, *Astronomy & Astrophysics*, 517, 3 (H5)
- Catanzaro G. i in. 2011 „*Atmospheric parameters and pulsational properties for a sample of  $\delta$  Sct,  $\gamma$  Dor and hybrid Kepler targets*”, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 411, 1167
- Catanzaro G. i in. 2015 „*CAOS spectroscopy of Am stars Kepler targets*”, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Volume 451, 84
- Chaplin W. J. i in. 2013 „*Kepler White Paper: Asteroseismology of Solar-Like Oscillators in a 2-Wheel Mission*”, arXiv: 1309.0702
- Chaplin W. J. i in. 2014 „*Asteroseismic Fundamental Properties of Solar-type Stars Observed by the NASA Kepler Mission*”, *Astrophysical Journal Supplement*, 210, 1
- Christensen-Dalsgaard J. 2004 „*Physics of solar-like oscillations*”, *Solar Physics*, 220, 137
- Christensen-Dalsgaard J. i in. 2007 „*Asteroseismology with the Kepler mission*”, *Communications in Asteroseismology*, 150, 350
- Christensen-Dalsgaard J. i in. 2010 „*Asteroseismic Investigation of Known Planet Hosts in the Kepler Field*”, *Astrophysical Journal*, 713, 164
- Corsaro E. i in. 2012 „*Asteroseismology of the Open Clusters NGC 6791, NGC 6811, and NGC 6819 from 19 Months of Kepler Photometry*”, *Astrophysical Journal*, 757, 190
- Corsaro E. i De Ridder J. 2014 „*DIAMONDS: A new Bayesian nested sampling tool*”, *Astronomy & Astrophysics*, 571, 71



- Creevey O. L. i in. 2012 „Fundamental properties of five Kepler stars using global asteroseismic quantities and ground-based observations”, *Astronomy & Astrophysics*, 537, 111
- Cui X. Q. i in. 2012 „The Large Sky Area Multi-Object Fiber Spectroscopic Telescope (LAMOST)”, *Research in Astronomy & Astrophysics*, 12, 1197
- Cunha M. i in. 2013 „Testing excitation models of rapidly oscillating Ap stars with interferometry”, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 436, 1639
- Cunha M. i in. 2015 „Structural Glitches Near the Cores of Red Giants Revealed by Oscillations in g-mode Period Spacings from Stellar Models”, *Astrophysical Journal*, 805, 127
- Davies G. R. i in. 2015 „Asteroseismic inference on rotation, gyrochronology and planetary system dynamics of 16 Cygni”, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 446, 2959
- De Cat P. i in. 2015 „Lamost Observations in the Kepler Field. I. Database of Low-resolution Spectra”, *Astrophysical Journal Supplement Series*, 220, 19 (H11)
- Deupree R. G. i in. 2012 „Matching the Spectral Energy Distribution and P-mode Oscillation Frequencies of the Rapidly Rotating Delta Scuti Star  $\alpha$  Ophiuchi with a Two-dimensional Rotating Stellar Model”, *Astrophysical Journal*, 753, 20
- Doğan G. i in. 2013 „Characterizing Two Solar-type Kepler Subgiants with Asteroseismology: KIC 10920273 and KIC 11395018”, *Astrophysical Journal*, 763, 49
- Dotter A. i in. 2008 „The Dartmouth Stellar Evolution Database”, *Astrophysical Journal Supplement Series*, 178, 89
- ESA 1997 „The Hipparcos and Tycho Catalogues”, ESA SP-1200, Noordwijk, ESA
- Evans N. R. i in. 2015 „Observations of Cepheids with the MOST satellite: contrast between pulsation modes”, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 446, 4008
- Everett M. i in. 2013 „Spectroscopy of Faint Kepler Mission Exoplanet Candidate Host Stars”, *Astrophysical Journal*, 771, 107
- Eyer L. i in. 2002 „The gamma Doradus stars campaign”, *ASP Conference Proceedings*, Vol. 256, str. 203.
- Fischer D. i in. 2016 „State of the Field: Extreme Precision Radial Velocities”, *Publications of the Astronomical Society of Pacific*, 128, 066001
- Frasca A. i in. 2003 „Further identification of ROSAT all-sky survey sources in Orion”, *Astronomy & Astrophysics*, 454, 301
- Frasca A. i in. 2006 „Newly discovered active binaries in the RasTyc sample of stellar X-ray sources. I. Orbital and physical parameters of six new binaries”, *Astronomy & Astrophysics*, 454, 301
- Frasca A. i in. 2011 „Magnetic activity and differential rotation in the very young star KIC 8429280”, *Astronomy & Astrophysics*, 532, 81
- Frasca A. i in. 2016 „Activity indicators and stellar parameters of the Kepler targets. An application of the ROTFIT pipeline to LAMOST-Kepler stellar spectra”, *Astronomy & Astrophysics*, 594, A39 (H12)
- Fröhlich H.-E. i in. 2012 „Magnetic activity and differential rotation in the young Sun-like stars KIC 7985370 and KIC 7765135”, *Astronomy & Astrophysics*, 543, 146
- Gaidos E. i in. 2016 „They are small worlds after all: revised properties of Kepler M dwarf stars and their planets”, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 457, 2877
- García R. i in. 2012 „Fast Rotating Solar-like Stars Using Asteroseismic Datasets”, *ASP Conference Proceeding*, Vol. 462, str. 133, (eds.) H. Shibahashi, M. Takata, and A.E. Lynas-Gray
- García R. i in. 2013 „Towards solar activity maximum 24 as seen by GOLF and VIRGO/SPM instruments”, *Journal of Physics: Conference Series*, 440, 012020
- García R. i in. 2014 „Rotation and magnetism of Kepler pulsating solar-like stars”, *Astronomy & Astrophysics*, 572, 34
- Georgy C. i in. 2013 „Populations of rotating stars. I. Models from 1.7 to 15  $M_{\odot}$  at  $Z = 0.014, 0.006, \text{ and } 0.002$  with  $\Omega/\Omega_{crit}$  between 0 and 1”, *Astronomy & Astrophysics*, 553, 24
- Gray R. i in. 2016 „LAMOST Observations in the Kepler Field: Spectral Classification with the MKCLASS Code”, *Astronomical Journal*, 151, 13
- Guggenberger E. i in. 2012 „The complex case of V445 Lyr observed with Kepler: two Blazhko modulations, a non-radial mode, possible triple mode RR Lyrae pulsation, and more”, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 424, 649
- Guzik J. i in. 2013 „The Occurrence of Non-pulsating Stars in the gamma Doradus/delta Scuti Pulsation Instability Region”, *Astronomical Review*, 8, 83
- Guzik J. i in. 2015 „The Occurrence of Non-Pulsating Stars in the gamma Dor and delta Sct Pulsation Instability Regions: Results from Kepler Quarter 14-17 Data”, *Astronomical Review*, 11, 1
- Guzik J. i in. 2016 „Detection of Solar-like Oscillations, Observational Constraints, and Stellar Models for  $\theta$  Cyg, the Brightest Star Observed by the Kepler Mission”, *Astrophysical Journal*, 831, 17

- Handberg R. i Lund M. N. 2014 „Automated preparation of Kepler time series of planet hosts for asteroseismic analysis”, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 445, 2698
- Hekker S. i in. 2011 „Asteroseismic inferences on red giants in open clusters NGC 6791, NGC 6819, and NGC 6811 using Kepler”, Astronomy & Astrophysics, 530, 100
- Huber D. i in. 2012 „Fundamental Properties of Stars Using Asteroseismology from Kepler and CoRoT and Interferometry from the CHARA Array”, Astrophysical Journal, 760, 32
- Huber D. i in. 2014 „Revised Stellar Properties of Kepler Targets for the Quarter 1-16 Transit Detection Run”, Astrophysical Journal Supplement, 211, 2
- Jerzykiewicz M. i in. 2003 „A CCD Search for Variable Stars of Spectral Type B in the Northern Hemisphere Open Clusters. V. NGC 2169”, Acta Astronomica, 53, 151
- Jerzykiewicz M. i in. 2013 „ $\mu$  Eridani from MOST and from the ground: an orbit, the SPB component's fundamental parameters and the SPB frequencies”, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 432, 1032
- Jerzykiewicz M. i in. 2015 „The 2003-2004 multisite photometric campaign for the  $\beta$  Cephei and eclipsing star 16 (EN) Lacertae with an appendix on 2 Andromedae, the variable comparison star”, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 454, 724
- Joshi Y. C. i in. 2012 „Photometric study and detection of variable stars in the open clusters - I. NGC 6866”, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 419, 2379
- Karoff C. i in. 2016 „Observational evidence for enhanced magnetic activity of superflare stars”, Nature Comm. 7, 11058
- Kazarovets A.V. i in. 1999 „The 74th Special Name-list of Variable Stars”, Information Bulletin on Variable Stars, No. 4659
- Koch D. G. i in. 2010 „Kepler Mission Design, Realized Photometric Performance, and Early Science”, Astrophysical Journal Letters, 713, L79
- Latham D. W. i in. 2005 „The Kepler Input Catalog”, Bulletin of the American Astronomical Society, 37, 1340
- Le Borgne J. F. i in. 2014 „Historical vanishing of the Blazhko effect of RR Lyr from the GEOS and Kepler surveys”, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 441, 1435
- Lehmann H. i in. 2011 „Spectral analysis of Kepler SPB and  $\beta$  Cephei candidate stars”, Astronomy & Astrophysics, 526, 124
- Lund M. N. i in. 2014a „Asteroseismic inference on the spin-orbit misalignment and stellar parameters of HAT-P-7”, Astronomy & Astrophysics, 570, 54
- Lund M. N. i in. 2014b „Differential Rotation in Main-Sequence Solar-Like Stars: Qualitative Inference from Asteroseismic Data”, Astrophysical Journal, 790, 121
- Lutz T. E. i Kelker D. H. 1973 „On the Use of Trigonometric Parallaxes for the Calibration of Luminosity Systems: Theory”, Publications of the Astronomical Society of the Pacific, 85, 573
- Marcy G. W. i in. 2014 „Masses, Radii, and Orbits of Small Kepler Planets: The Transition from Gaseous to Rocky Planets”, Astrophysical Journal Supplement, 210, 20
- Mathur S. i in. 2012 „A Uniform Asteroseismic Analysis of 22 Solar-type Stars Observed by Kepler”, Astrophysical Journal, 749, 152
- Matson R. A. i in. 2016 „Fundamental Parameters of Kepler Eclipsing Binaries. I. KIC 5738698”, Astronomical Journal, 151, 139
- McNamara B. i in. 2012 „The Classification of Kepler B-star Variables”, The Astronomical Journal, 143, 101
- Metcalfe T. i in. 2014 „Properties of 42 Solar-Type Kepler targets from the Asteroseismic Modeling Portal”, Astrophysical Journal, Supplement Series, 214, 27
- Michalska G. i in. 2013 „The massive eclipsing system ALS 1135 and variable stars in the field of the distant OB association Bochum 7”, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 429, 1354
- Miglio A. i in. 2012 „Asteroseismology of old open clusters with Kepler: direct estimate of the integrated red giant branch mass-loss in NGC 6791 and 6819”, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 419, 2077
- Miglio A. i in. 2014 „Prospects for Detecting Asteroseismic Binaries in Kepler Data”, Astrophysical Journal Letters, 784, L3
- Molenda-Żakowicz J. 2006 „The new space telescope Kepler and its asteroseismological targets”, Memorie della Società Astronomica Italiana, 77, 545
- Molenda-Żakowicz J. i Polubek G. 2004 „Empirical Absolute Magnitudes, Luminosities and Effective Temperatures of SPB Variables and the Problem of Variability Classification of Monoperiodic Stars”, Acta Astronomica, 54, 281
- Molenda-Żakowicz J. i Polubek G. 2005 „New beta Cephei and SPB Stars Discovered in Hipparcos Photometry”, Acta Astronomica, 55, 375
- Molenda-Żakowicz J. i in. 2006 „Kepler telescope and solar-like pulsators” Proc. SOHO 18/GONG 2006/HELAS I, CDROM, p. 110.1.

- Molenda-Żakowicz J. i in. 2007a „Spectroscopic Study of Kepler Asteroseismic Targets”, *Acta Astronomica*, 57, 301 (H1)
- Molenda-Żakowicz J. i in. 2007b „Solar-like Oscillations with Kepler”, *Comm. in Astroseismology*, 150, 143
- Molenda-Żakowicz J. i in. 2008a „Spectroscopic Study of Candidates for Kepler Asteroseismic Targets – Solar-Like Stars”, *Acta Astronomica*, 58, 419 (H2)
- Molenda-Żakowicz J. i in. 2009a „Photometric Study of Variable Stars in the Open Cluster NGC 6866”, *Acta Astronomica*, 59, 193 (H3)
- Molenda-Żakowicz J. i in. 2009b „Photometric Study of Kepler Asteroseismic Targets”, *Acta Astronomica*, 59, 213 (H4)
- Molenda-Żakowicz J. i in. 2009c „Rotation of  $\delta$  Scuti Stars in the Open Clusters NGC 1817 and NGC 7062”, *Acta Astronomica*, 59, 69
- Molenda-Żakowicz J. i in. 2010a „Astroseismology of solar-type stars with Kepler: III. Ground-based data”, *Astronomische Nachrichten*, 331, 981 (H6)
- Molenda-Żakowicz J. i in. 2010b „Characteristics of 100+ Kepler Asteroseismic Targets from Ground-Based Observations”, arXiv: 1005.0985
- Molenda-Żakowicz J. i in. 2011 „Characterizing Kepler asteroseismic targets”, 2011, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 412, 1210 (H7)
- Molenda-Żakowicz J. i in. 2013 „Atmospheric parameters of 169 F-, G-, K- and M-type stars in the Kepler field”, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 434, 1422 (H9)
- Molenda-Żakowicz J. i in. 2014 „Spectroscopic study of the open cluster NGC 6811”, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 445, 2446 (H10)
- Molnár L. i in. 2015 „An RR Lyrae family portrait: 33 stars observed in Pisces with K2-E2”, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 452, 4283
- Mosser B. i in. 2012 „Spin down of the core rotation in red giants”, *Astronomy & Astrophysics*, 548, 10
- Moździerski D. i in. 2014 „A CCD Search for Variable Stars of Spectral Type B in the Northern Hemisphere Open Clusters. IX. NGC 457”, *Acta Astronomica*, 64, 89
- Mulders G. D. i in. 2016 „A Super-solar Metallicity for Stars with Hot Rocky Exoplanets”, *Astronomical Journal*, 152, 187
- Murphy S. i Paunzen E. 2017 „Gaia's view of the  $\lambda$  Boo star puzzle”, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 466, 546
- Murphy S. i in. 2016 „A Planet in an 840 Day Orbit around a Kepler Main-sequence A Star Found from Phase Modulation of Its Pulsations”, *Astrophysical Journal Letters*, 827, L17
- Nemec J. i in. 2011 „Fourier analysis of non-Blazhko ab-type RR Lyrae stars observed with the Kepler space telescope”, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 417, 1022
- Ness M. i in. 2013 „ARGOS - IV. The kinematics of the Milky Way bulge”, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 432, 2092
- Niemczura E. i in. 2015 „Spectroscopic survey of Kepler stars. I. HERMES/Mercator observations of A- and F-type stars”, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 450, 2764
- Pigulski A. i in. 2016 „Massive pulsating stars observed by BRITe-Constellation. I. The triple system  $\beta$  Centauri (Agena)”, *Astronomy & Astrophysics*, 588, 55
- Pinsonneault M. H. i in. 2012 „A Revised Effective Temperature Scale for the Kepler Input Catalog”, *Astrophysical Journal Supplement*, 199, 30 (H8)
- Pinsonneault M. H. i in. 2014 „The APOKASC Catalog: An Asteroseismic and Spectroscopic Joint Survey of Targets in the Kepler Fields”, *Astrophysical Journal Supplement*, 215, 19
- Pires S. i in. 2015 „Gap interpolation by inpainting methods: Application to ground and space-based asteroseismic data”, *Astronomy & Astrophysics*, 574, 18
- Ren A. i in. 2016 „LAMOST Observations in the Kepler Field. Analysis of the Stellar Parameters Measured with LASP Based on Low-resolution Spectra”, *Astrophysical Journal Supplement*, 225, 28
- Skrutskie M. F. i in. 2006 „The Two Micron All Sky Survey (2MASS)”, *Astronomical Journal*, 131, 1163
- Smalley B. i in. 2011 „SuperWASP observations of pulsating Am stars”, *Astronomy & Astrophysics*, 535, A3
- Smith H. Jr. 1987 „The calibration problem. IV - The Lutz-Kelker correction”, *Astronomy & Astrophysics*, 188, 233
- Southworth J. 2015 „DEBCat: A Catalog of Detached Eclipsing Binary Stars”, *ASP Conf. Ser. Vol. 496*, 164
- Sozzetti A. i in. 2007 „Improving Stellar and Planetary Parameters of Transiting Planet Systems: The Case of TrES-2”, *Astrophysical Journal*, 664, 1190
- Stello D. i in. 2009 „Radius Determination of Solar-type Stars Using Asteroseismology: What to Expect from the Kepler Mission”, *Astrophysical Journal*, Volume 700, 1589
- Stello D. i in. 2011 „An Asteroseismic Membership Study of the Red Giants in Three Open Clusters Observed by

- Kepler: NGC 6791, NGC 6819, and NGC 6811", *Astrophysical Journal*, 739, 13
- Stello D. i in. 2016 „A prevalence of dynamo-generated magnetic fields in the cores of intermediate-mass stars”, *Nature*, 529, 364
- Szabados L. i in. 2013 „Discovery of the spectroscopic binary nature of six southern Cepheids”, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 430, 2018
- Szabó G. M. i in. 2012 „Evidence for Fresh Frost Layer on the Bare Nucleus of Comet Hale-Bopp at 32 AU Distance”, *Astrophysical Journal*, 761, 8
- Takeda Y. i Tajitsu A. 2015 „Spectroscopic study of red giants in the Kepler field with asteroseismologically established evolutionary status and stellar parameters”, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 450, 397
- Takeda Y. i in. 2016 „Fundamental stellar parameters and age-metallicity relation of Kepler red giants in comparison with theoretical evolutionary tracks”, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 457, 4454
- Tayar J. i in. 2015, „Rapid Rotation of Low-mass Red Giants Using APOKASC: A Measure of Interaction Rates on the Post-main-sequence”, *Astrophysical Journal*, 807, 82
- Thygesen A. i in. 2012 „Atmospheric parameters of 82 red giants in the Kepler field”, *Astronomy & Astrophysics*, 543, A160
- Tkachenko A i in. 2013, „Detection of a large sample of  $\gamma$  Doradus stars from Kepler space photometry and high-resolution ground-based spectroscopy”, *Astronomy & Astrophysics*, 556, 52
- Tody D. 1986, "The IRAF Data Reduction and Analysis System", *Proc. SPIE Instrumentation in Astronomy VI*, 627, 733, ed. D.L. Crawford
- Tody D. 1993, "IRAF in the Nineties" in *Astronomical Data Analysis Software and Systems II*, ASP Conference Ser., Vol 52, str. 173, eds. R. J. Hanisch, R. J. V. Brissenden i J. Barnes
- Tong V. C. H. i García R. A. (eds.) 2015 "Extraterrestrial Seismology", ISBN-13: 9781107041721
- Uytterhoeven K. i in. 2010 „Ground-based follow-up in relation to Kepler asteroseismic investigation”, *Astronomische Nachrichten*, 331, 993
- Uytterhoeven K. i in. 2011 „The Kepler characterization of the variability among A- and F-type stars. I. General overview”, *Astronomy & Astrophysics*, 534, 125
- Valdes F. i in. 2004 „The Indo-US Library of Coude Feed Stellar Spectra”, *Astrophysical Journal Supplement*, 152, 251
- Van Eylen V. i Albrecht S. 2015 "Eccentricity from Transit Photometry: Small Planets in Kepler Multi-Planet Systems Have Low Eccentricities", *Astrophysical Journal*, 808, 126
- Van Eylen V. i in. 2014 „What Asteroseismology can do for Exoplanets: Kepler-410A b is a Small Neptune World around a Bright Star, in an Eccentric Orbit with Low Obliquity”, *Astrophysical Journal*, 782, 14
- van Saders J. L. i in. 2016 „Weakened magnetic braking as the origin of anomalously rapid rotation in old field stars”, *Nature*, 529, 181
- Walczak P. i in. 2015 „Wider pulsation instability regions for  $\beta$  Cephei and SPB stars calculated using new Los Alamos opacities”, *Astronomy & Astrophysics*, 580, 9
- White T. i in. 2013 „Interferometric radii of bright Kepler stars with the CHARA Array:  $\theta$  Cygni and 16 Cygni A and B”, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 433, 1262
- Zhao G. i in. 2012 „LAMOST spectral survey — An overview”, *Research in Astronomy & Astrophysics*, 12, 723
- Zasowski G. i in. 2015 „Preliminary Evaluation of the Kepler Input Catalog Extinction Model Using Stellar Temperatures”, *Astrophysics and Space Science Proc.*, 39, 83

##### 5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo - badawczych (artystycznych).

Moje pozostałe osiągnięcia naukowo-badawcze dotyczyły badań gwiazd wczesnych typów widmowych. Była to kontynuacja prac, które prowadziłam przed otrzymaniem stopnia doktora. W tym czasie zajmowałam się badaniem zmienności gwiazd w gromadzie otwartej NGC 2169 (Jerzykiewicz i in. 2003) oraz badaniem zmienności gwiazd typu SPB i  $\beta$  Cep obserwowanych przez satelitę Hipparcos (Molenda-Żakowicz i Połubek 2004, 2005).

Do badań gwiazd pulsujących w gromadach otwartych wróciłam w pracy Molenda-Żakowicz i in. (2009c), w której przedstawiona jest charakterystyka dwudziestu gwiazd typu  $\delta$  Sct w gromadach otwartych NGC 1817 i NGC 7062. Mój wkład do tej pracy polegał na wykonaniu obserwacji

spektroskopowych instrumentem Andalucia Faint Object Spectrograph and Camera (ALFOSC) zainstalowanym na 2.5-m Nordic Optical Telescope (Wyspy Kanaryjskie, Hiszpania) oraz na wykonaniu kalibracji, redukcji i analizy tych danych, w wyniku której wyznaczyłam prędkości radialne i rzutowane równikowe prędkości rotacji gwiazd programowych. Obserwacje fotometryczne wykonane w filtrach  $uvby\beta$  Strömghrena na tym samym teleskopie posłużyły mi do wyznaczenia parametrów atmosferycznych gwiazd. Niestety, większość naszych celów obserwacyjnych okazała się być szybkimi rotatorami ( $v \sin i > 100 \text{ km s}^{-1}$ ) co znacznie zmniejszyło ich atrakcyjność do badań asterosejsmicznych.

W roku 2013 włączyłam się w badania gwiazdy  $\mu$  Eri, która jest gwiazdą spektroskopowo podwójną typu SB2 z szybko rotującym składnikiem głównym wykazującym pulsacje typu SPB (Jerzykiewicz i in. 2013). Dla gwiazdy tej uzyskaliśmy fotometrię satelitarną za pomocą teleskopu kosmicznego MOST i naziemne obserwacje spektroskopowe. Mój wkład do tych badań polegał na wykonaniu naziemnych obserwacji spektroskopowych za pomocą spektrografu FRESCO zainstalowanego na 91-cm teleskopie w obserwatorium INAF-OACt (Włochy). Obserwacje te zostały uzyskane w tym samym czasie, w którym wykonywane były obserwacje satelitarne. W wyniku analizy zebranych przez nas danych uzupełnionych o obserwacje archiwalne wykryliśmy 15 nowych częstości zmienności typu SPB i potwierdziliśmy częstości znane z fotometrii naziemnej. Wykonaliśmy też obliczenia parametrów orbity spektroskopowej i parametrów atmosferycznych tej gwiazdy oraz wyznaczyliśmy obfitości pierwiastków He, C, N, O, Ne, Mg, Al, Si, P, S, Cl i Fe.

Kolejna z prac poświęconych badaniu zmienności gwiazd wczesnych typów widmowych, w którą się zaangażowałam, dotyczyła 16 Lac, będącej gwiazdą pulsującą typu  $\beta$  Cep. W pracy Jerzykiewicz i in. (2015) wykonałam część obserwacji fotometrycznych przeprowadzanych w ramach kampanii fotometrycznej poświęconej 16 Lac. Dane zebrane podczas 185 nocy (749 godzin wielobarwnych obserwacji fotometrycznych) pozwoliły nam na analizę statusu ewolucyjnego 16 Lac i na analizę asterosejsmiczną jej widma częstości, w tym na identyfikację modów. Analiza archiwalnych obserwacji pozwoliła nam na zbadanie długoterminowych zmian amplitud i faz trzech modów pulsacji o największych amplitudach. W pracy tej przeprowadziliśmy też dyskusję zmienności gwiazdy 2 And, która była jedną z gwiazd porównawczych podczas naszej kampanii obserwacyjnej.

