



Politechnika
Śląska



UCZELNIA
BADAWCZA
INICJATYWA DOSKONAŁOŚCI

Drzewa jako bioindykatory przemysłowych zanieczyszczeń powietrza w okresie wdrażania proekologicznej polityki na obszarze Śląska

dr hab. inż. Barbara Sensuła, prof. PŚ,
Zakład Geochronologii i Badań Izotopowych Środowiska
Instytut Fizyki-Centrum Naaukowo-Dydaktyczne
Politechnika Śląska



Badanie środowiskowe z wykorzystaniem drzew jako bioindykatorów (Śląsk)

ZGiBIŚ we współpracy z:

- Uniwersytetem Śląskim, Uniwersytetem Rolniczym w Krakowie,
- Uniwersytetem w Liege (Belgia)
- Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie

Analiza zmian klimatu i zanieczyszczeń środowiska:

- Frakcjonowanie izotopów węgla (^{12}C , ^{13}C , ^{14}C), tlenu (^{18}O , ^{16}O), azotu (^{15}N , ^{14}N), **analizy geochemiczne (akumulacja i depozycja zanieczyszczeń)**
- Analizy dendrochronologiczne
- Analizy geochemiczne
- **Analiza składu izotopowego węgla w atmosferycznym CO_2 ****

Badanie środowiskowe drzew: Zastosowanie metod spektrometrii masowej do badania składu izotopów stabilnych węgla i tlenu w α -celulozie i glukozie z rocznych przyrostów drzew jako bioindykatorów środowiska (Niepołomice)

ZZR we współpracy z:

- Uniwersytetem Warwick (Wielka Brytania),
- CNRS-CERMAV (Francja)

- Badania drzew jako **bioindykatorów zmian środowiska**
- Opracowanie metodyki hydrolizy (enzymatycznej i kwasowej) celulozy z próbek drzew pobranych w ramach projektu ISONET
- Pomiar składu izotopów **stabilnych węgla i tlenu w celulozie i glukozie** w Zakładzie Zastosowań Radioizotopów (Politechnika Śląska)

Badanie środowiskowe drzew Projekt ISONET: 400 years of Annual Reconstructions of European Climate Variability using a High Resolution Isotopic Network

Isotopic Network (koordynator projektu: Prof. Gerhard Schleser, Forschungszentrum in Juelich, Niemcy, Koordynator w Polsce:

prof. Anna Pazdur,

współpraca ZZR z

- Uniwersytetem Rolniczym
- Akademią Górniczo-Hutniczą w Krakowie

- **rekonstrukcja zmian klimatu w ciągu ostatnich 400 lat w Europie** na podstawie badań izotopowych
- Stanowiska w Polsce: **Niepołomice**, Suwałki

ZZR we współpracy z:

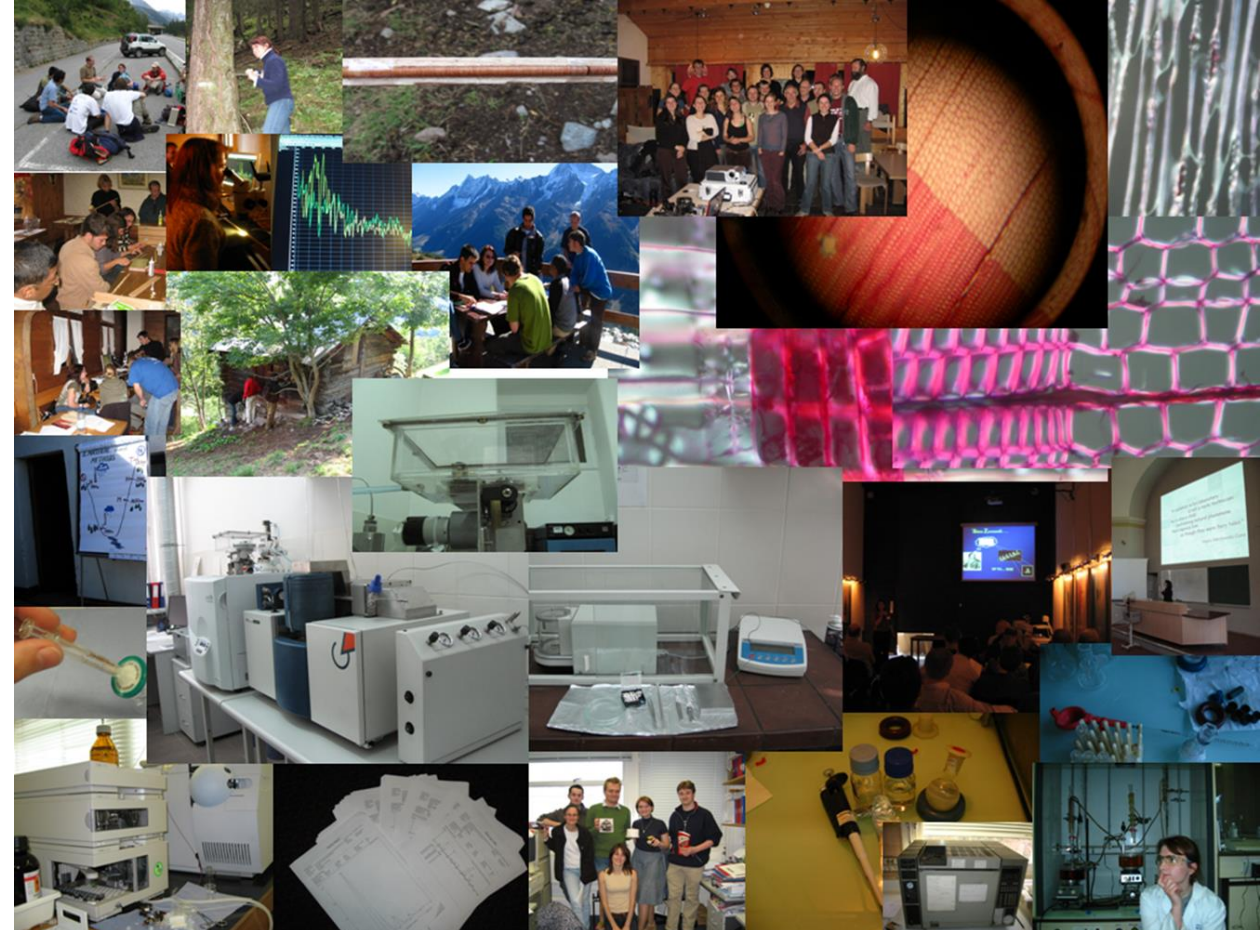
Akademią Górniczo-Hutniczą w Krakowie
Wigierskim Parkiem Narodowym
UFZ Leipzig-Halle

Badanie środowiskowe Jeziora Wigry

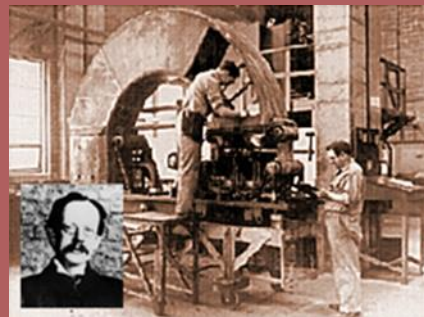
m.in. Wyznaczanie **składu izotopów stabilnych węgla i tlenu oraz koncentracji ^{14}C** w materii organicznej (**rośliny lądowe** i wodne- frakcjonowanie w izotopowe w różnych gatunkach roślin, frakcjonowanie izotopowe w łodygach, liściach, kwiatostanie) oraz w węglanach (próbki wody, muszle) (praca magisterska)

obecnie

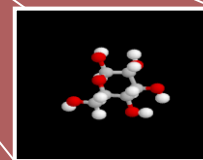
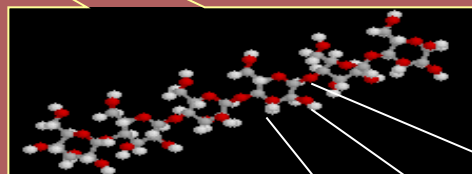
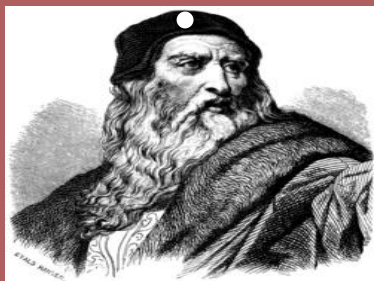
- Zaprojektowanie i konstrukcja nowego stanowiska do pomiaru składu izotopowego powietrza
- Dalsze analizy i badania drzewostanów na Śląsku, w szczególności z wykorzystaniem spektrometrii mas
- Wdrażanie studentów (dwa projekty PBL: akumulacja i depozycja zanieczyszczeń na obszarze Śląska, Wspólna Szkoła Doktorów)
- Projekty badawcze w ocenie (Norway Grants, NCN)



Od Leonarda...



Thomson,
1911



PO... XXI WIEK

- Badania te mają charakter oryginalny i uzupełniający w stosunku do badań prowadzonych w laboratoriach na świecie, a innowacyjny charakter ww projektów polegał w szczególności na czasoprzestrzennej analizie wpływu zmian klimatu i emisji zanieczyszczeń powietrza, oraz emisji antropogenicznego CO₂ na drzewa w okresie rozwoju przemysłu (od lat 70tych XX wieku) i wdrażania polityki pro-ekologicznej na Śląsku:
- (a) kompleksowej analizie efektu antropogenicznego i zmian klimatu zapisanych zarówno w szerokości rocznych przyrostów drzew oraz ich składzie izotopowym:
 - analizie szerokości rocznych przyrostów drzew (od 1975 roku)
 - analizie zniżenie koncentracji radiowęglu w okresie od 1975 roku, ze szczególnym uwzględnieniem implementacji norm europejskich (od 2000 roku)
 - analizie sygnałów zmian środowiska zapisanych w składzie izotopów stabilnych w trzech składnikach rocznych przyrostów drzew: drewnie (izotopy C i N), celulozie (O i C) oraz glukozie (O i C) w latach 1975-2012.
- (b) modelowaniu wpływu zanieczyszczeń emitowanych do atmosfery na szerokość rocznych przyrostów drzew oraz ich składu izotopowego ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$ i ^{14}C)
- - analizie czasoprzestrzennego zapisu zmian środowiska w szerokości rocznych przyrostów drzew i ich składzie izotopowym w pobliżu każdego z wybranych zakładów - porównaniu zapisu zmian klimatu i wpływu przemysłowych zanieczyszczeń środowiska dla 3 różnych zakładów przemysłowych (huty, elektrociepłowni, zakładów azotowych) w okresie od 1975 roku do współczesności
- - analizie czasoprzestrzennego zapisu zmian środowiska w składzie izotopowym drzew w pobliżu każdego z wybranych zakładów (w różnej odległości od zakładów przemysłowych) na podstawie analiz składu izotopowego rocznych pędów sosny w trzech kolejnych latach: od 2012 do 2014 roku)
- - oszacowaniu składowych emisyjnych pochodzących z przemysłowych zanieczyszczeń środowiska dla poszczególnych zakładów

Metody dendrochronologiczne i spektrometryczne

- badanie reakcji przyrostowych drzew, pozwalają wykryć wpływ zanieczyszczeń na drzewa i są miarą ich wrażliwości na presję różnych czynników środowiskowych.

- Analizy dendrochronologiczne:

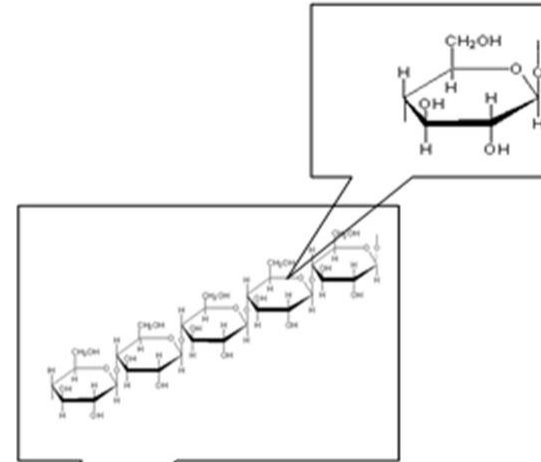
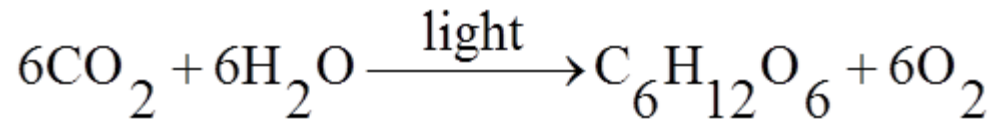
-analiza zmiany wielkości przyrostów radialnych drzew,

-analiza udziału osobników wykazujących osłabienie potencjału przyrostowego

-analiza stopnia jednorodności ich reakcji przyrostowych [Krąpiec, Szychowska-Krąpiec 2001; Wilczyński 2006; Eckstein, Schweingruber 2009; Elling i in. 2009; Malik i in. 2009, 2010].

Uzupełnienie badań dendrochronologicznych

- analizy określające zmiany składu izotopów stabilnych, składu pierwiastkowego w liściach oraz drewnie dokonywane za pomocą metod spektrometrycznych [Farquhar i in. 1989; Scheidegger i in. 2000; Savard 2010; Sensuła 2015, 2016a].
- łączenie różnych metod badawczych pozwala uzyskać pełniejszą informację o relacjach środowisko – drzewo, co może być wykorzystane w bio-monitoringu środowiska w skali lokalnej, regionalnej, jak i globalnej [Morison 1993; Savard 2010; Sensuła, Pazdur 2013a,b; Sensuła i in. 2015; Sensuła 2016a].

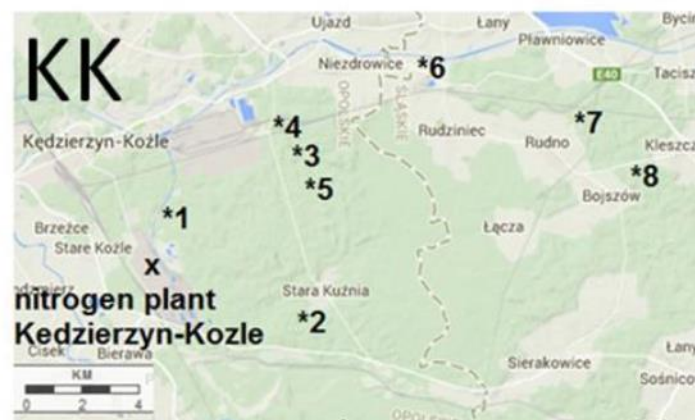
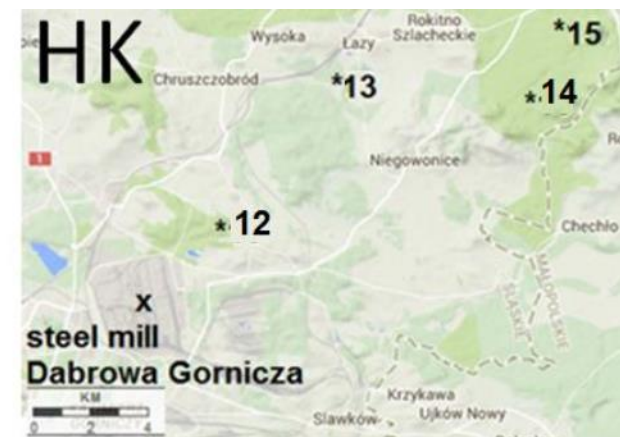
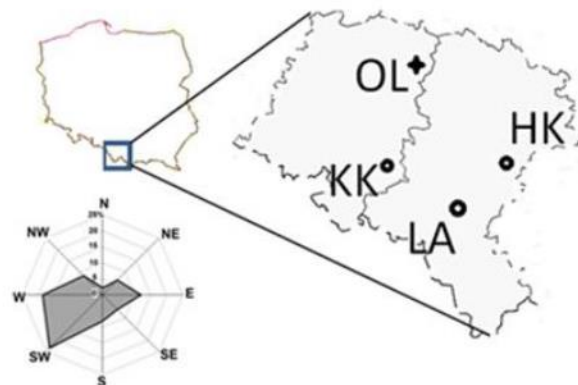


$$\delta^n X = \left(\frac{R_{\text{próbki}}}{R_{\text{wzorca}}} - 1 \right) \cdot 1000^\circ / \text{oo}$$

n- liczba masowa izotopu cięższego,

$R_{\text{próbki}}$ i R_{wzorca} -stosunek izotopu cięższego do lżejszego odpowiednio w próbce i wzorcu

Projekt BIOPOL, IZOPED 1, IZOPED2, projekty w ramach współpracy polsko-belgijskiej





Ekstrakcja drewna

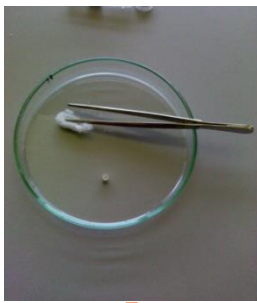


$\delta^{15}\text{N}$
 $\delta^{13}\text{C}$



EA-IR-MS

Ekstrakcja α -ceulozy



$\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$

^{14}C

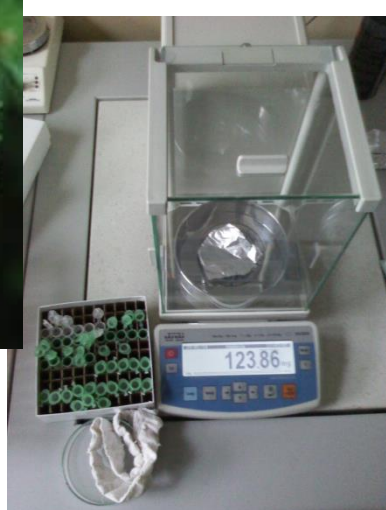
Hydroliza glukozy

$\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{18}\text{O}$



AMS





$\delta^{15}\text{N}$
 $\delta^{13}\text{C}$



EA-IR-MS



α -cellulose extraction



$\delta^{18}\text{O}$

C_6H_6

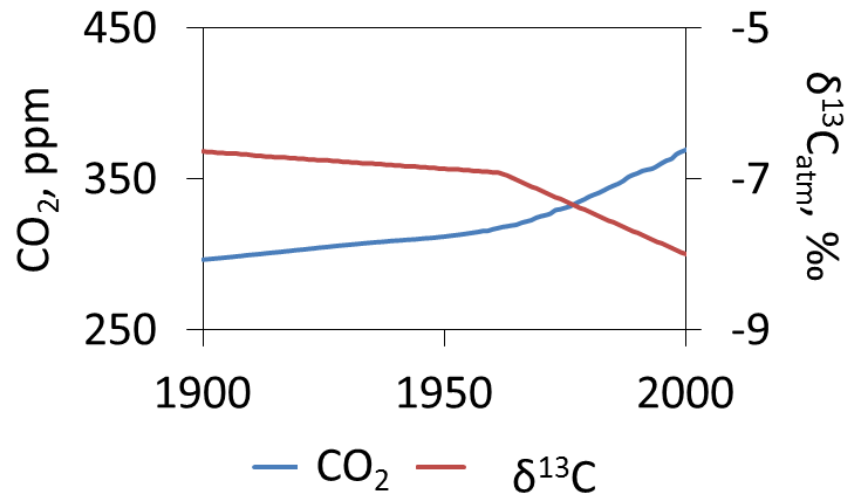
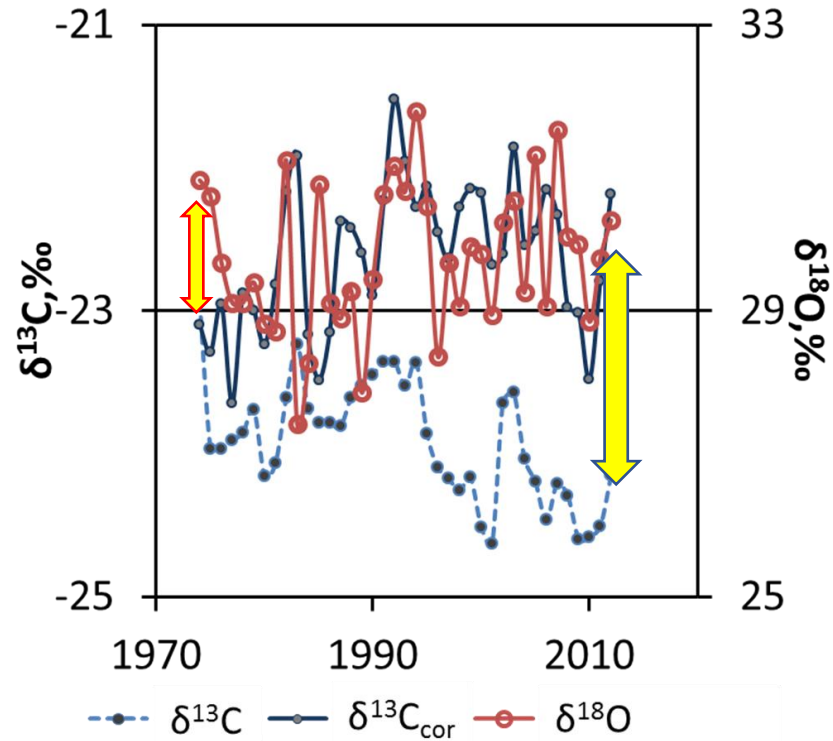
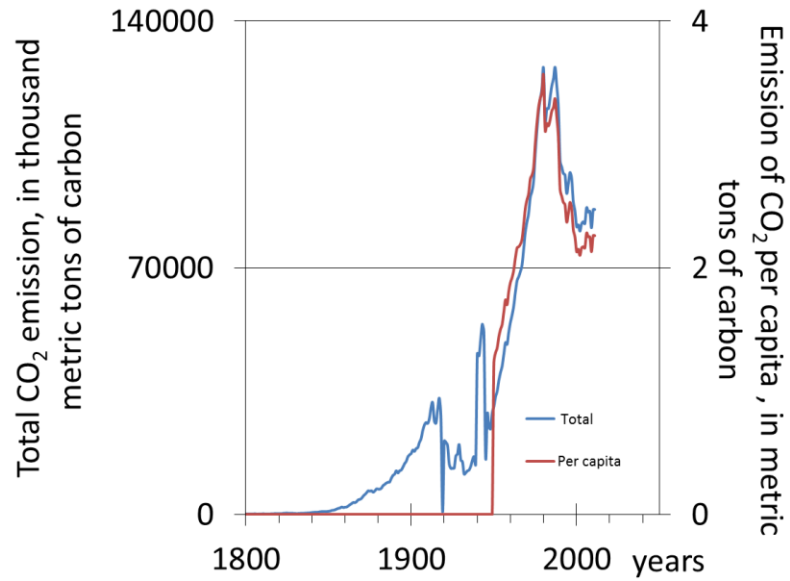


^{14}C

LSC Quantulus



wzrost emisji CO₂ zniżenie δ¹³C

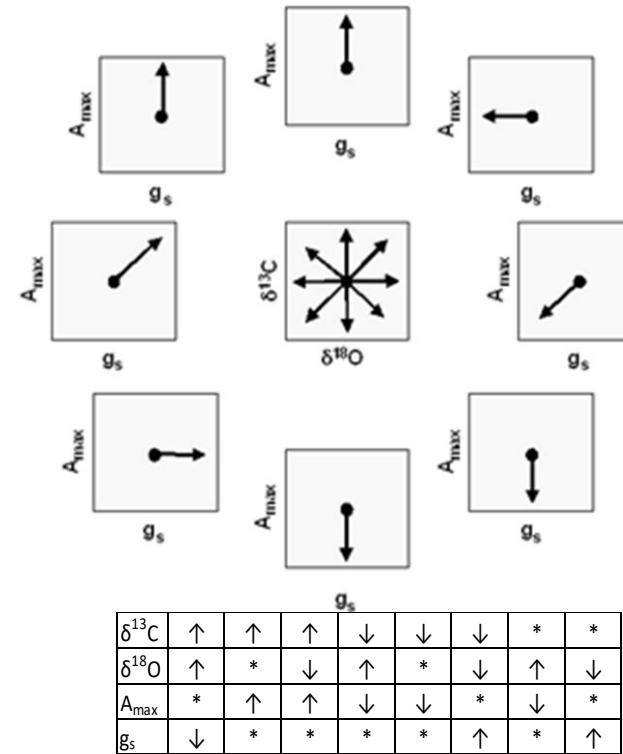
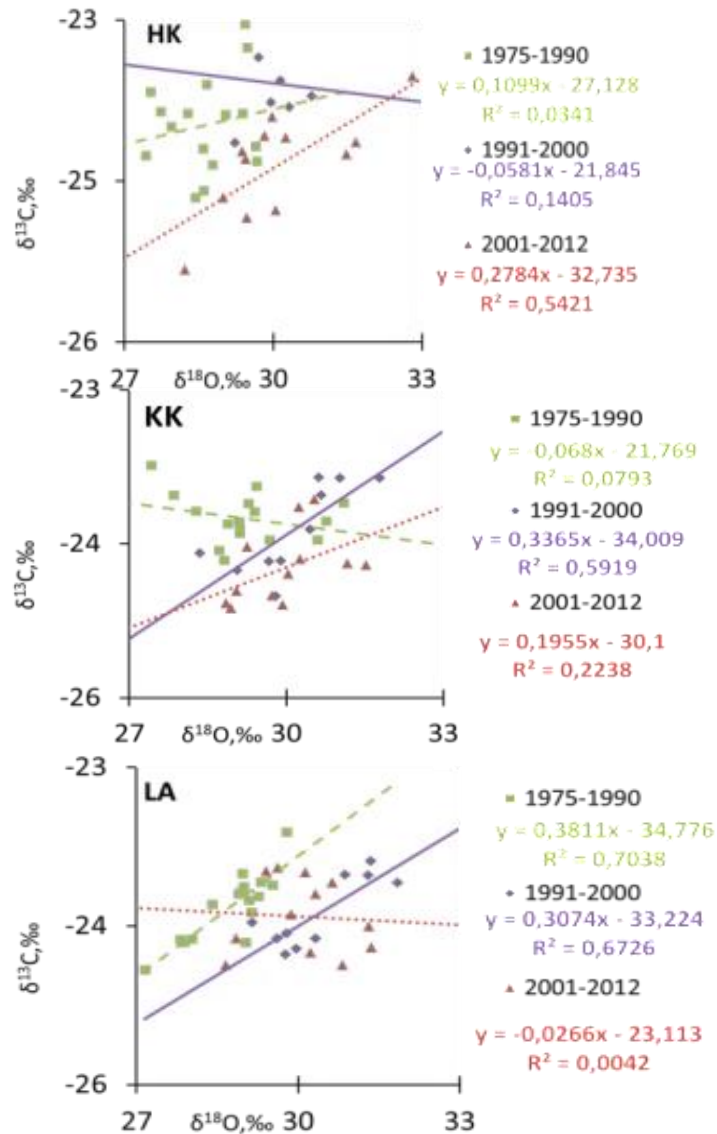


Sensuła Barbara, Piotrowska Natalia, 2020, Carbon isotopic research of pinus sylvestris l. growing in the Southern Poland (near Kędzierzyn-Koźle, Dąbrowa Górnicza Katowice and Olesno), Radiocarbon

Sensuła Barbara et al., 2018, Anthropogenic CO₂ emission records in Scots pine growing in the most industrialized region of Poland from 1975 to 2014, Radiocarbon

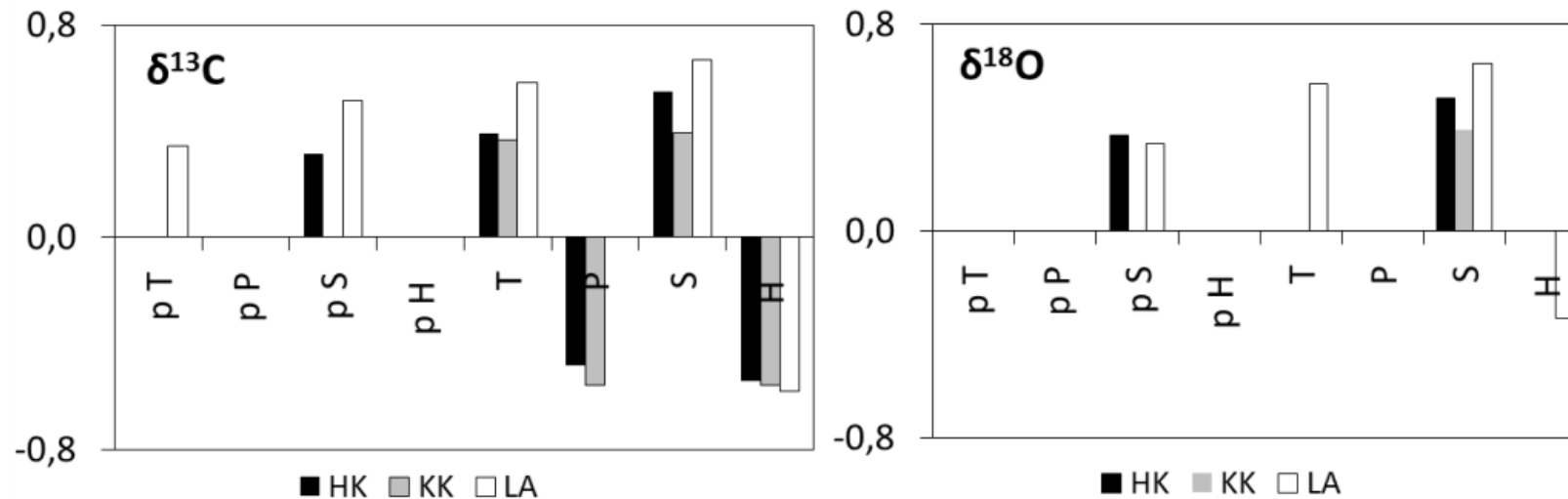
Sensuła Barbara, Wilczyński S. 2018, Tree-ring widths and the stable isotope composition of pine tree-rings as climate indicators in the most industrialised part of Poland during CO₂ elevation, Geochronometria

• jakościowa analiza zmienności składu izotopów stabilnych węgla i tlenu w α -celulozie i określenie jako odpowiedzi na zmiany w szybkości fotosyntezy czy zmiana konduktywności aparatów szparkowych



Rys. Jakościowa analiza wpływu zmienności przewodności szparkowej oraz szybkości fotosyntezy na podstawie zmiany składu izotopów stabilnych węgla i tlenu w α -celulozie ekstrahowanej z rocznych przyrostów sosny (od 1975 roku do 2012 roku) rosnącej w lasach obszarów przemysłowych Śląska w okresie wprowadzania strategii proekologicznej w zakładach przemysłowych (w pobliżu huty w Dąbrowie Górniczej (HK), elektrociepłowni w Łaziskach Górnych (LA) oraz zakładów chemicznych w Kędzierzynie Koźlu (KK))

- analiza sygnału klimatycznego zapisanego w składzie izotopów stabilnych węgla i tlenu dla 3 różnych zakładów przemysłowych (huty, elektrociepłowni, zakładów azotowych) w okresie od 1975 roku do współczesności;

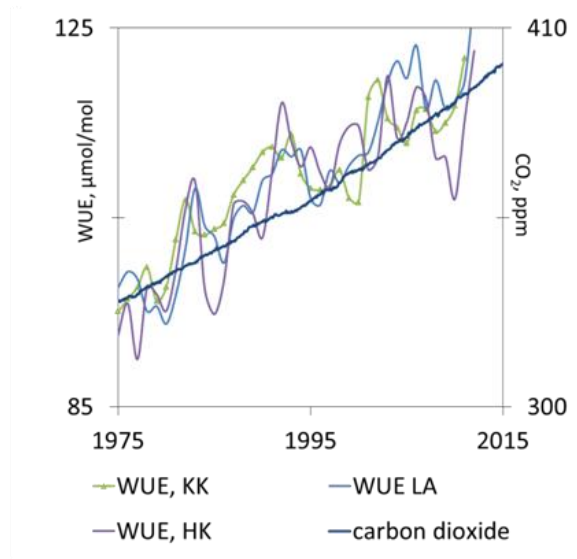


Rys. Sygnał klimatyczny (roczne zmienności temperatury powietrza (T), opadów (P), usłonecznienia (S) oraz wilgotności (H)) zapisany w składzie izotopowym sosny (w analizie uwzględniono okres od września roku poprzedzającego do września danego roku) (pomiar składu izotopów stabilnych w drzewach wykonałam za pomocą EA-IRMS w laboratorium w Instytucie Fizyki w Gliwicach)

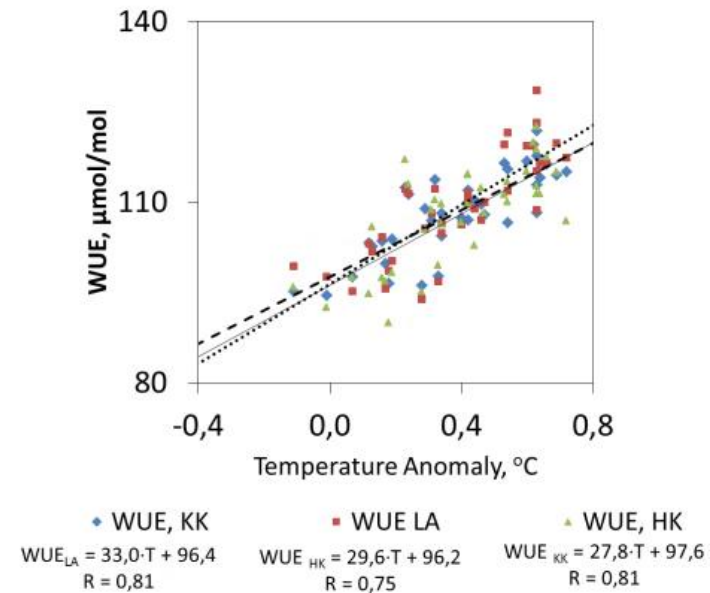
Sensuła Barbara, Wilczyński S. 2018, Tree-ring widths and the stable isotope composition of pine tree-rings as climate indicators in the most industrialised part of Poland during CO₂ elevation, Geochronometria

•Oszacowanie i analiza efektywności wykorzystania wody przez drzewa (na poziomie celulozy i glukozy) oraz analiza zmienności WUE w świetle anomalii temperatury powierzchni Ziemi

a)



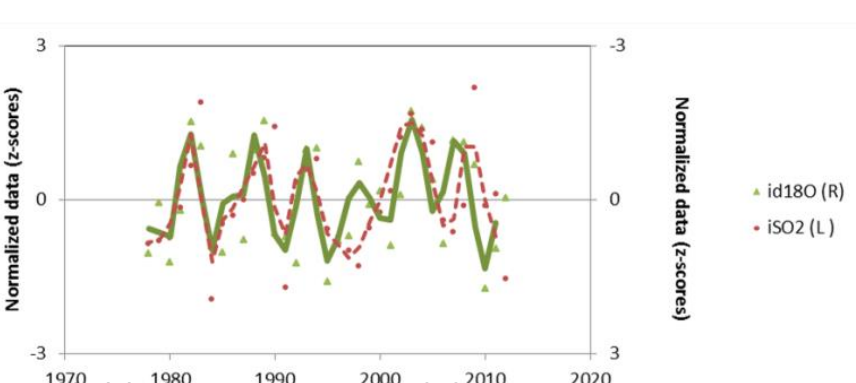
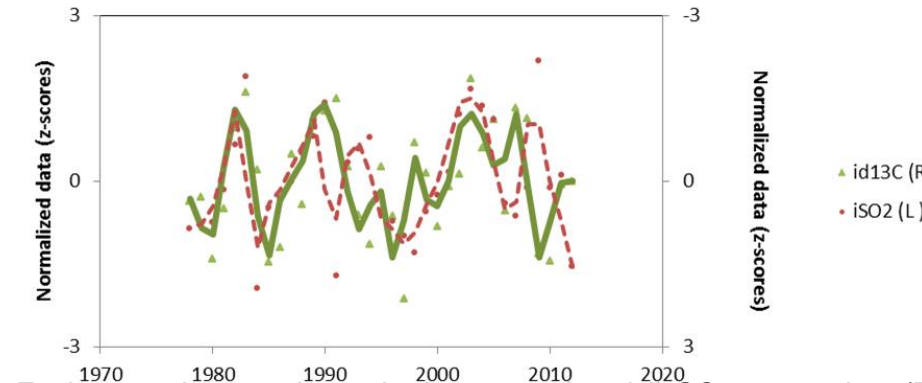
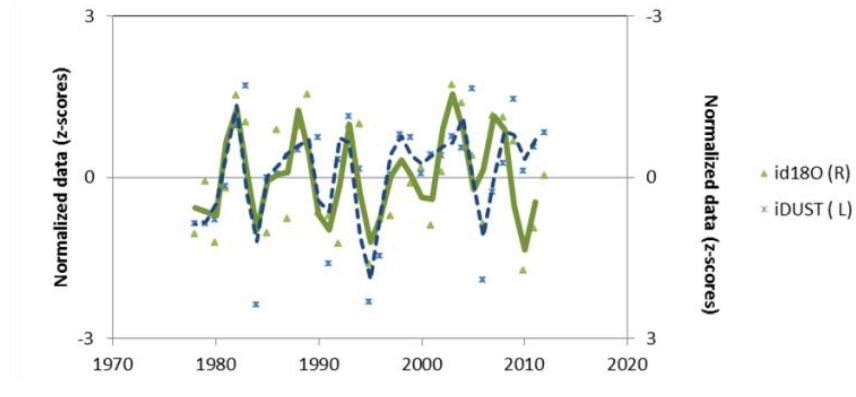
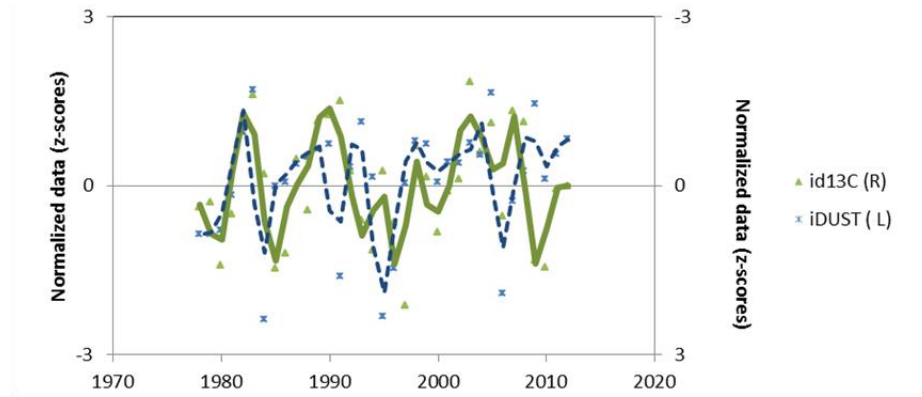
b)



Rys. Efektywność wykorzystania wody (WUE) przez drzewa (na poziomie celulozy i glukozy) w świetle globalnych zmian koncentracji CO₂ w powietrzu (a) oraz anomalii temperatury powierzchni Ziemi (b). W latach 1975-2012 wraz ze wzrostem koncentracji CO₂ w powietrzu o 60 ppm wartość współczynnika WUE wzrosła o ok. 40%. Wyniki wskazują na istotną zależność WUE od zmian temperatury powierzchni Ziemi. (pomiar składu izotopów stabilnych w drzewach wykonałam za pomocą EA-IRMS w laboratorium w Instytucie Fizyki w Gliwicach)

Sensuła Barbara, Wilczyński S. 2018, Tree-ring widths and the stable isotope composition of pine tree-rings as climate indicators in the most industrialised part of Poland during CO₂ elevation, Geochronometria

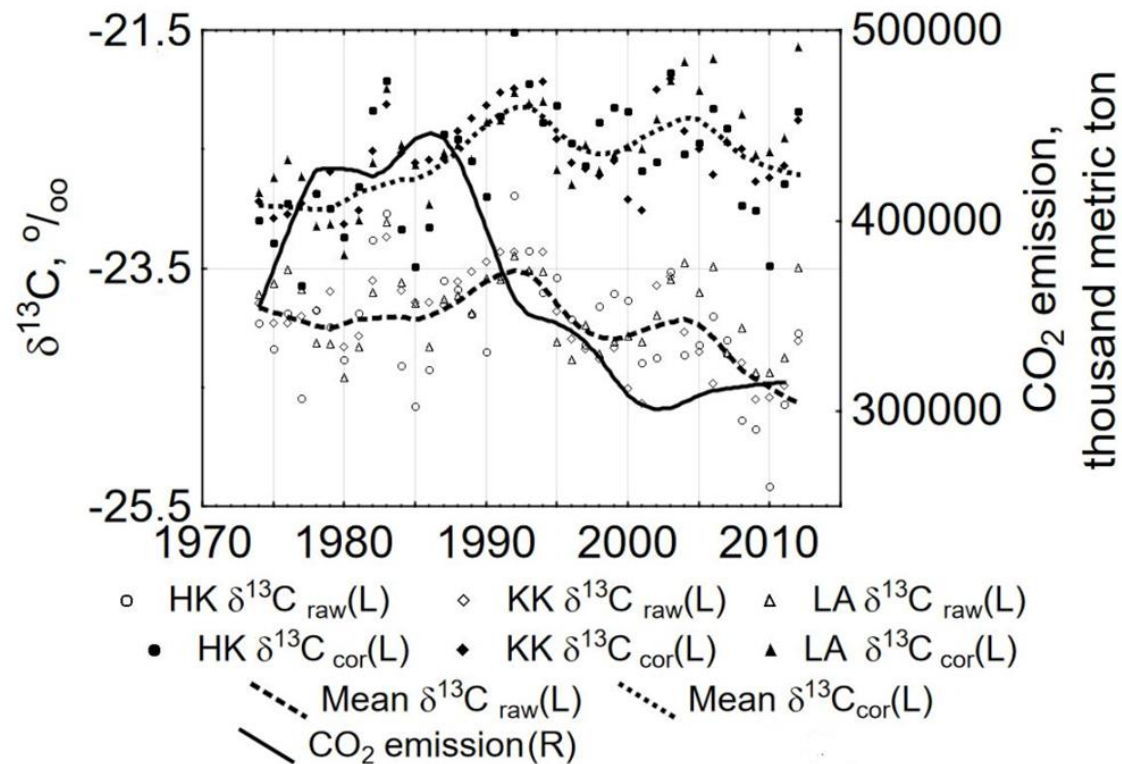
•Dla obszaru „Huta Katowice” wykonałam analizę sygnału pochodzącego od emisji SO_2 oraz pyłów (PM) na skład izotopowy węgla i tlenu glukozy (z uwagi na brak danych z innych zakładów przemysłowych analizę wykonano tylko dla jednego stanowiska badawczego)



Rys. Zapis sygnału sygnału pochodzącego od emisji SO_2 oraz pyłów (PM) w składzie izotopowym węgla i tlenu glukozy (dla obszaru Huty Katowice) (pomiar składu izotopów stabilnych w drzewach wykonałam za pomocą EA-IRMS w laboratorium w Instytucie Fizyki w Gliwicach)

Sensuła Barbara, 2016. $\delta^{13}\text{C}$ and water use efficiency in the glucose of annual pine tree rings as ecological indicators of the forests in the most industrialized part of Poland. Water Air Soil Pollut.
Sensuła Barbara, 2016. The impact of climate, sulfur dioxide, and industrial dust on $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{13}\text{C}$ in glucose from pine tree rings growing in an industrialized area in the southern part of Poland. Water Air Soil Pollut.

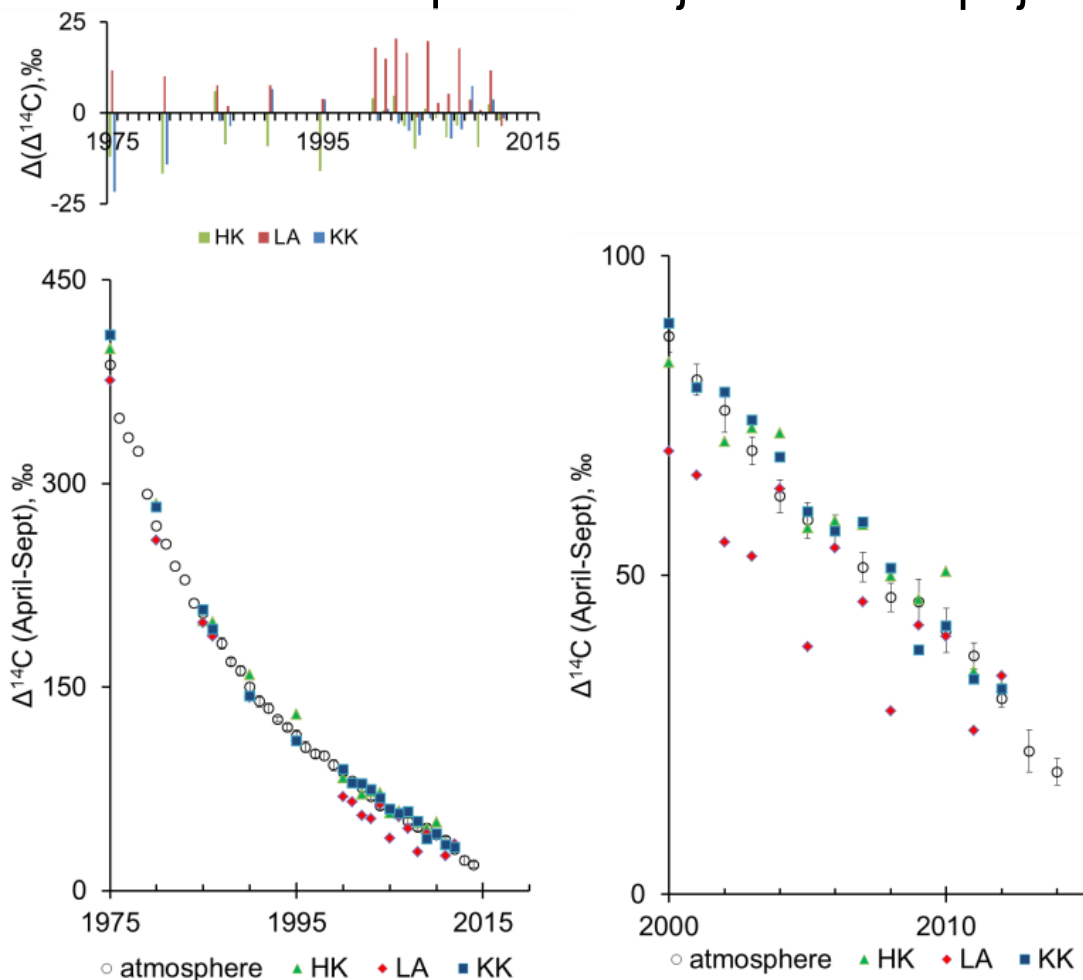
- Analiza sygnału pochodzącego od emisji CO₂ w składzie izotopowym węgla w celulozie



Rys. Zmiany składu izotopowego $\delta^{13}\text{C}$ w sośnie (od 1975 roku do 2012 roku) rosnącej w lasach obszarów przemysłowych Śląska w okresie wprowadzania strategii proekologicznej w zakładach przemysłowych (w pobliżu huty w Dąbrowie Górniczej (HK), elektrociepłowni w Łaziskach Górnych (LA) oraz zakładów chemicznych w Kędzierzynie Koźlu (KK)) w świetle zmian emisji antropogenicznej CO₂ do atmosfery (Boden i in., 2016). Wraz ze wzrostem emisji CO₂ wartości $\delta^{13}\text{C}$ w drzewach przyjmują bardziej ujemne wartości. W analizie uwzględniłam poprawkę na globalną emisję antropogenicznego CO₂ zaproponowaną przez McCarolla i in (2009) (pomiar składu izotopów stabilnych w drzewach wykonałam za pomocą EA-IRMS w laboratorium w Instytucie Fizyki w Gliwicach)

Sensuła Barbara et al., 2021. Radiocarbon, trace elements and Pb isotope composition of pine needles from a highly industrialized region in southern Poland Radiocarbon
Sensuła Barbara, Piotrowska Natalia, 2020, Carbon isotopic research of pinus sylvestris l. growing in the Southern Poland (near Kędzierzyn-Koźle, Dąbrowa Górnicza Katowice and Olesno), Radiocarbon
Sensuła Barbara et al., 2018, Anthropogenic CO₂ emission records in Scots pine growing in the most industrialized region of Poland from 1975 to 2014, Radiocarbon

Zmiany koncentracji radiowęglu, ze szczególnym uwzględnieniem okresu implementacji norm europejskich (tj. od 2000 roku)



Efekt Suessa:

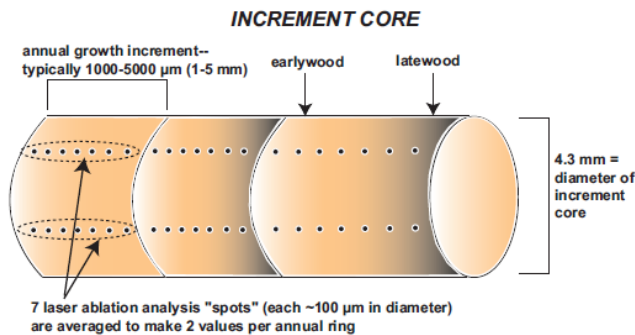
$$^{14}S = \frac{\Delta^{14}C_{BG} - \Delta^{14}C}{\Delta^{14}C_{BG} + 1000} \times 100\%$$

Rys. Zaniżenie koncentracji ^{14}C w rocznych przyrostach sosny (w okresie 1975-2000 – analizy z roczną rozdzielczością od 2000-2012) względem koncentracji ^{14}C w „czystym” powietrzu z Jungfraujoch (Hammer S, Levin I. 2017). Pomiar koncentracji ^{14}C wykonano za pomocą AMS w laboratorium w Seattle

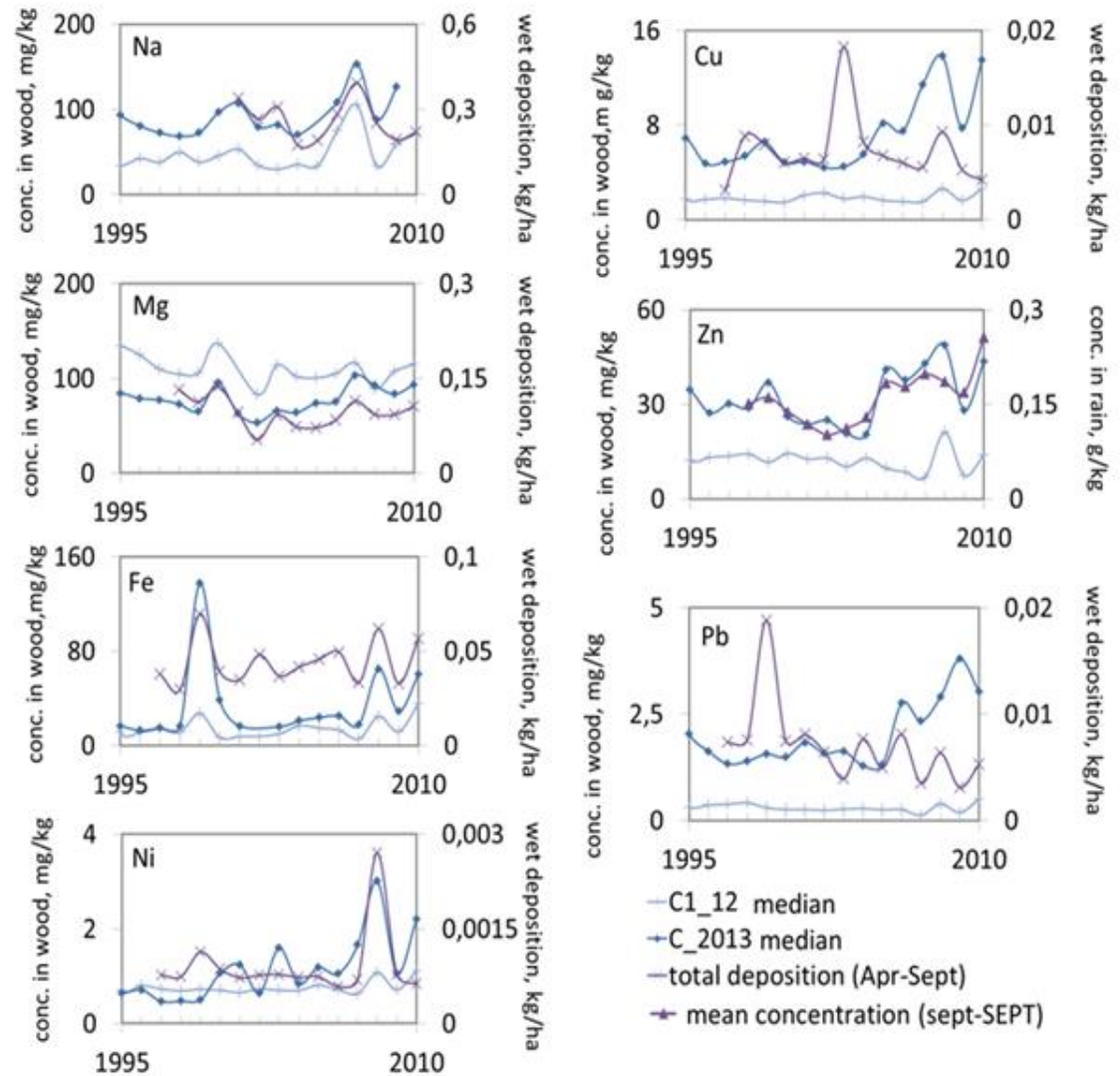
W badanym okresie czasu wartości $\Delta^{14}C_{NH1}$ wykazują znaczny spadek od ok. 400 do 40 ‰ o kształcie bliskim eksponencie. Wysoka początkowa wartość $\Delta^{14}C_{NH1}$ spowodowana była antropogeniczną produkcją izotopu ^{14}C na skutek próbnych wybuchów jądrowych w atmosferze, głównie w latach 60-tych XX wieku. Następujący po tym czasie spadek $\Delta^{14}C_{NH1}$ spowodowany jest przede wszystkim ubytkiem $^{14}CO_2$ zawierającego wyprodukowane sztucznie atomy ^{14}C na skutek wymiany CO_2 między różnymi rezerwuarami obiegu węgla na Ziemi, w tym z CO_2 rozpuszczonym w oceanie światowym (Hua i in. 2013).

- Sensuła Barbara** et al., 2021. Radiocarbon, trace elements and Pb isotope composition of pine needles from a highly industrialized region in southern Poland Radiocarbon
- Sensuła Barbara**, Piotrowska Natalia, 2020, Carbon isotopic research of pinus sylvestris l. growing in the Southern Poland (near Kędzierzyn-Koźle, Dąbrowa Górnicza Katowice and Olesno), Radiocarbon
- Sensuła Barbara** et al., 2018, Anthropogenic CO_2 emission records in Scots pine growing in the most industrialized region of Poland from 1975 to 2014, Radiocarbon

Analizy środowiskowe zostały poszerzone dla obszaru KK o analizy geochemiczne rocznych przyrostów drzew



Laser Ablation Inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) spektrometria mas ze wzbudzeniem w plazmie indukcyjnie sprzężonej



Rys. Analizy geochemiczne drewna sosny rosnącej w obszarze lasów przemysłowych w pobliżu zakładów chemicznych (KK), porównanie trendów zmian składu ładunku i depozycji ze składem pierwiastkowym rocznych przyrostów drzew (pomiary wykonałam z rozdzielczością 5 μm przy pomocy LAICPMS w Belgii).

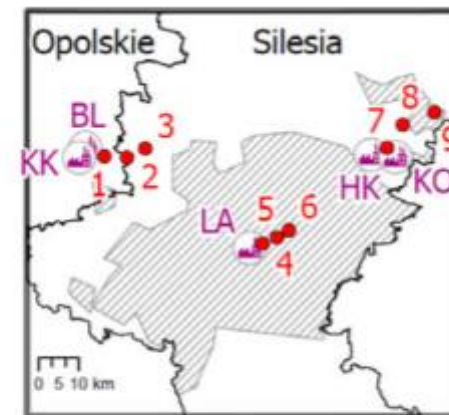
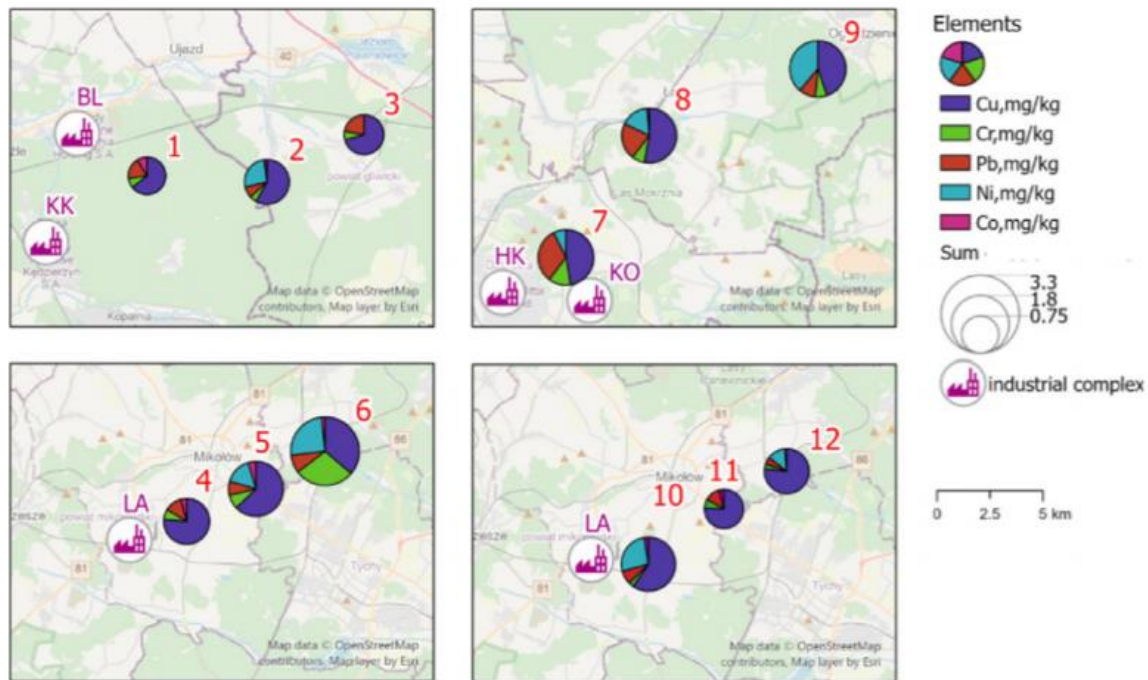


Figure 2 Accumulation of Cu, Cr, Pb, Ni, and Co in pine needles formed in 2012 (samples no. 1–9) and 2013 (samples no. 10–12) in areas near different factories, i.e., Petrochemia-Blachownia (BL) and nitrogen factories (KK), Łaziska Power Plant (LA), coking plant Przyjaźń (KO), and the steel factory Huta Katowice (HK).

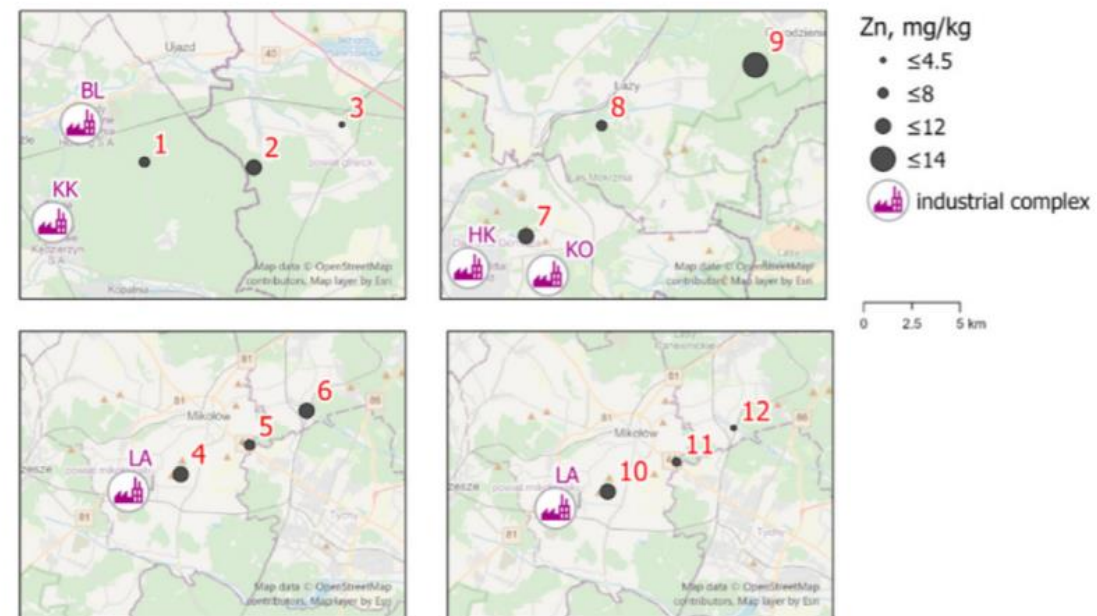
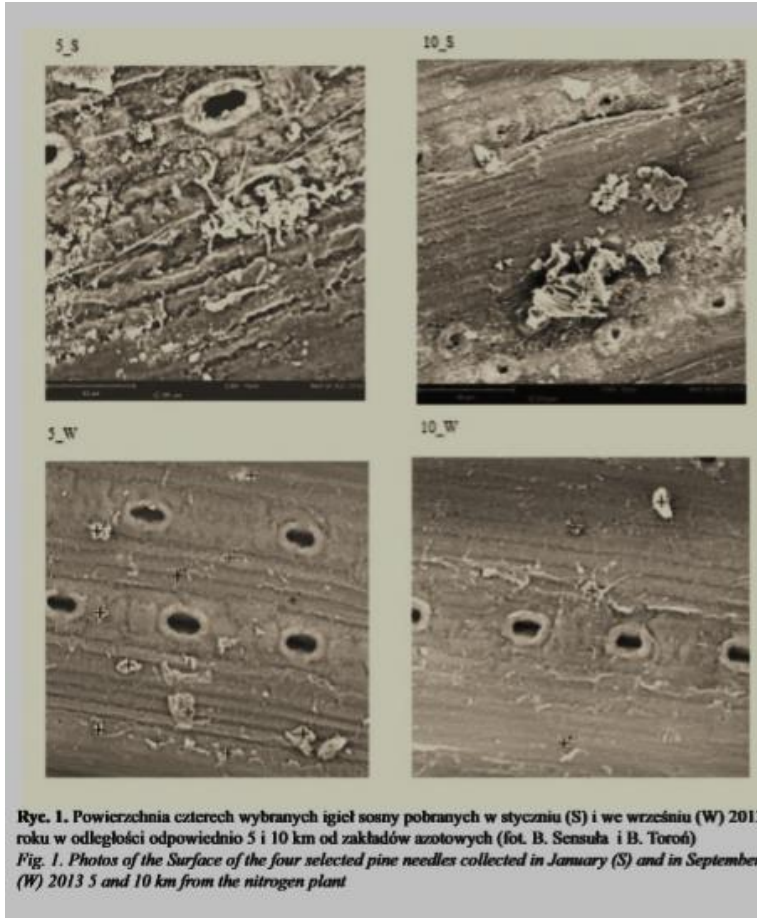


Figure 3 Accumulation of Zn in pine needles formed in 2012 (samples no. 1–9) and in 2013 (samples no. 10–12) in areas near different factories, i.e., Petrochemia-Blachownia (BL) and nitrogen factories (KK), Łaziska Power Plant (LA), coking plant Przyjaźń (KO), and the steel factory Huta Katowice (HK).

SEM



odległość od ZAK	data poboru próbki	nazwa próbki	skład pierwiastkowy												
			C	O	N	Na	Mg	Al	P	Si	S	K	Ca	Ti	Fe
5km	styczeń 2013	5 S 1	X	X			X	X		X	X	X			X
		5 S 2	X	X				X		X		X		X	X
		5 S 3	X	X			X	X		X		X			X
		5 S 4	X	X		X		X		X	X	X	X		X
		5 S 5	X	X											
	wrzesień 2013	5 w 1	X	X								X	X		
		5 w 2	X	X									X		
		5 w 3	X	X							X		X	X	
		5 w 4	X	X							X	X	X		
		5 w 5	X	X											
		5 w 6	X	X	X							X	X		
		5 w 7	X	X			X				X		X	X	
		5 w 8	X	X				X		X		X			X
		5 w 9	X	X				X				X	X		
		5 w 10	X	X				X				X	X		
		5 w 11	X	X								X	X		
		5 w 12	X	X									X		
		10 km	styczeń 2013	10 S 1	X	X							X		
10 S 2	X			X				X	X	X	X	X	X		
10 S 3	X			X			X			X					
wrzesień 2013	10 W 1		X	X											
	10 W 2		X	X			X	X		X	X		X	X	
	10 W 3		X	X											
	10 W 4		X	X				X		X			X		

Sensuła Barbara, Wilczyński S., Toroń Bartłomiej, Piotrowska Natalia (2020). Biomonitoring obszarów przemysłowych Śląska - zastosowanie metod dendrochronologicznych, spektrometrycznych i mikroskopowych w badaniach drzewostanów sosnowych w pobliżu elektrociepłowni w Łaziskach Górnych. Współczesne problemy ochrony środowiska i energetyki 2019

Sensuła Barbara Toroń Bartłomiej 2018. Reakcje drzewostanów sosnowych na obszarze przemysłowym w pobliżu zakładów chemicznych w Kędzierzynie-Koźlu: analiza mikroskopowa powierzchni igieł Czasopismo: Stud. Mater. Cent. Eduk. Przyr.-Leś

Kilka publikacji, w których opublikowano wyniki prac przedstawionych m.in. W niniejszej prezentacji

1. **Sensuła Barbara** et al., 2021. Radiocarbon, trace elements and Pb isotope composition of pine needles from a highly industrialized region in southern Poland Radiocarbon
2. **Sensuła Barbara**, Piotrowska Natalia, 2020, Carbon isotopic research of pinus sylvestris l. growing in the Southern Poland (near Kędzierzyn-Koźle, Dąbrowa Górnicza Katowice and Olesno), Radiocarbon
3. **Sensuła Barbara** et al., 2018, Anthropogenic CO₂ emission records in Scots pine growing in the most industrialized region of Poland from 1975 to 2014, Radiocarbon
4. **Sensuła Barbara**, Wilczyński S. 2018, Tree-ring widths and the stable isotope composition of pine tree-rings as climate indicators in the most industrialised part of Poland during CO₂ elevation, Geochronometria
5. **Sensuła Barbara**, Wilczyński S., Toroń Bartłomiej, Piotrowska Natalia (2020). Biomonitoring obszarów przemysłowych Śląska - zastosowanie metod dendrochronologicznych, spektrometrycznych i mikroskopowych w badaniach drzewostanów sosnowych w pobliżu elektrociepłowni w Łaziskach Górnych. Współczesne problemy ochrony środowiska i energetyki 2019
6. **Sensuła Barbara** Toroń Bartłomiej 2018. Reakcje drzewostanów sosnowych na obszarze przemysłowym w pobliżu zakładów chemicznych w Kędzierzynie-Koźlu: analiza mikroskopowa powierzchni igieł Czasopismo: Stud. Mater. Cent. Eduk. Przyn.-Leś
7. **Sensuła Barbara**, Wilczyński S.2017, Climatic signals in tree-ring width and stable isotopes composition of Pinus Sylvestris L. Growing in the industrialized area nearby Kędzierzyn-Koźle, Geochronometria
8. **Sensuła Barbara** et al., 2017, Variations of tree ring width and chemical composition of wood of pine growing in the area nearby chemical factories, Geochronometria
9. **Sensuła Barbara**, 2016. $\delta^{13}\text{C}$ and water use efficiency in the glucose of annual pine tree rings as ecological indicators of the forests in the most industrialized part of Poland. Water Air Soil Pollut.
10. **Sensuła Barbara**,2016. The impact of climate, sulfur dioxide, and industrial dust on $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{13}\text{C}$ in glucose from pine tree rings growing in an industrialized area in the southern part of Poland. Water Air Soil Pollut.
11. **Sensuła Barbara**, et al., 2016. Zastosowanie metod dendrochronologicznych oraz spektrometrycznych w monitorowaniu drzewostanów sosnowych na obszarach przemysłowych, Sylwan
12. **Sensuła Barbara** et al., 2015. Long- and short-term incremental response of Pinus sylvestris L. from industrial area nearby steelworks in Silesian Upland, Poland, Dendrochronologia
13. **Sensuła Barbara**.2015, Spatial and short-temporal variability of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ and water-use efficiency in pine needles of the three forests along the most industrialized part of Poland Water Air Soil Pollut.
14. **Sensuła Barbara** et al., 2015. Tree growth and climate relationship: dynamics of scots pine (pinus sylvestris l.) growing in the near-source region of the combined heat and power plant during the development of the pro-ecological strategy in Poland. Water Air Soil Pollut.
15. Pazdur Anna et al., 2013. Carbon isotope composition of atmospheric carbon dioxide in southern Poland: imprint of anthropogenic CO₂ emissions in regional biosphere, Radiocarbon
16. **Sensuła Barbara**, Pazdur Anna 2013, Influence of climate change on carbon and oxygen isotope fractionation factors between glucose and α -cellulose of pine wood Geochronometria
17. **Sensuła Barbara**, Pazdur Anna 2013, Stable carbon isotopes of glucose received from pine tree-rings as bioindicators of local industrial emission of CO₂ in Niepołomice Forest (19502000) Isot. Environ. Health Stud.
18. **Sensuła Barbara**, et al., 2013, First application of mass spectrometry and gas chromatography in investigation of α -cellulose hydrolysates: the influence of climate changes on glucose molecules in pine tree-rings, Rapid Commun. Mass Spectrom.
19. **Sensuła Barbara** et al., 2011 Probing palaeoclimatology through quantitation by mass spectrometry of the products of enzyme hydrolysis of α -cellulose, Cellulose
20. **Sensuła Barbara**, Derrick P., Bickerton J., Pazdur Anna**.2009, Mass spectrometric study of glucose and cellobiose produced during enzymatic hydrolysis of α -cellulose extracted from oak late-wood annual rings. Rapid Commun. Mass Spectrom.
21. Pazdur Anna et al., 2007. Carbon isotopes in tree rings: climate and the Suess effect interferences in the last 400 years. Radiocarbon
22. **Sensuła Barbara** 2006., Carbon and oxygen isotope composition of organic matter and carbonates in recent lacustrine sediments, Geochronometria

Serdecznie dziękuję Pracownikom Naukowym wszystkich ośrodków naukowych, w których miałam możliwość pracować, prowadzić badania podczas staży i stypendiów od czasu studiów magisterskich. Przede wszystkim serdeczne podziękowania składam Promotorowi pracy magisterskiej i doktorskiej - Pani prof. dr hab. **Annie Pazdur** za opiekę naukową, dyskusje merytoryczne, istotne uwagi i sugestie. Dziękuję Pracownikom Naukowym z Instytutu Fizyki i spoza, w szczególności P. **dr inż. B. Toroniowi** (PŚ) za wspólne analizy z wykorzystaniem SEM, P. dr hab. inż. **Sławomirowi Wilczyńskiemu** (z Uniwersytetu Rolniczego w Krakowie) za współpracę przy analizach dendrochronologicznych, Panu dr hab. inż. **Mirosławowi Zimnochowi**, prof. AGH i Panu dr **Jakubowi Bartyzelowi** (AGH) za niedawno rozpoczętą współpracę i budowę analizatora.

Słowa wdzięczności kieruję również w stronę **Pana prof. Petera Derrika⁺** i **Pana Johna Bickertona⁺** z Wydziału Chemicznego **The University of Warwick** w Wielkiej Brytanii, za możliwość poznawania tajników spektrometrii masowej, liczne dyskusje i zachętę do współpracy. Dziękuję Panu **prof. Pierre Vignon**, Panu **dr Yoshi Nishiyamie** i Pani **Marie-France Marais** za możliwość współpracy naukowej i opiekę naukową podczas stażu w **CNRS-CERMAV** we Francji. Szczególne podziękowania składam Panu **dr Fritzowi Schweingruberowi⁺** i Panu **dr Gerhardowi Holgerowi** z Swiss Federal Research Institute WSL za przekazanie pasji i wspólne odkrywanie historii zapisanej w rocznych pierścieniach drzew. Panu dr Zdzisławowi Bednarzowi z **Uniwersytetu Rolniczego im. Hugona Kołłątaja w Krakowie**, Panu prof. **Markowi Krąpcowi** i Pani prof. **Elżbiecie Szychowskiej-Krąpiec** z **Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie**, za pierwsze próbki z projektu **ISONET**, członkom zespołu projektowego **BIOPOL**, Pani Prof. **Nathalie Fagel** z **Universite de Liege** za możliwość współpracy bilateralnej i umożliwienie prowadzenia badań geochemicznych.

Dziękuję wszystkim Osobom, z którymi miałam zaszczyt i przyjemność współpracować w kraju i za granicą, a od których mogłam się wiele nauczyć, w szczególności Koleżankom i Kolegom z Instytutu Fizyki Politechniki Śląskiej, z ośrodka naukowego **CNRS-CERMAV** i z **Uniwersytetu Warwick**.

Dziękuję za uwagę

Barbara.Sensula@polsl.pl