

Dr inż. Krzysztof Baszczyński

Centralny Instytut Ochrony Pracy - Państwowy Instytut Badawczy

00-701 Warszawa, ul. Czerniakowska 16

Zakład Ochron Osobistych

90-133 Łódź, ul. Wierzbowa 48

AUTOREFERAT

Spis treści autoreferatu:

1.	Dane personalne.....	2
2.	Stopnie i tytuły naukowe.....	2
3.	Historia zatrudnienia i przebieg pracy zawodowej.....	2
4.	Wskazanie osiągnięcia naukowego.....	4
4.1.	Tytuł osiągnięcia naukowego.....	4
4.2.	Wykaz prac naukowych.....	5
4.3.	Omówienie celu naukowego w/w prac i osiągniętych wyników, wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania.....	8
5.	Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych.....	38
6.	Sumaryczny dorobek publikacyjny, wynalazczy i wdrożeniowy.....	42

1. Dane personalne

Krzysztof Baszczyński

2. Stopnie i tytuły naukowe

Stopień doktora nauk technicznych - 1994 r.

Politechnika Łódzka, Wydział Elektrotechniki i Elektroniki

Tytuł rozprawy: *Metoda identyfikacji komputerowej w dziedzinie czasu obwodów dynamicznych*

Promotor: dr hab. inż. Tomasz Kacprzak – prof. PŁ.

Recenzenci: prof. dr hab. Jerzy Baranowski, dr hab. inż. Zygmunt Kuśmierek - prof. PŁ.

Kopię dokumentu stwierdzającego nadanie tytułu doktora nauk technicznych przedstawiłem w załączniku nr 1 do wniosku o przeprowadzenie postępowania habilitacyjnego.

Tytuł magistra inżyniera elektronika - 1985 r.

Politechnika Łódzka, Wydział Elektryczny;

Kierunek: Elektronika; Specjalność: Aparatura Elektroniczna;

Tytuł pracy: *Programowalny system akwizycji danych.*

Opiekunowie pracy: dr inż. Paweł Duda, mgr inż. Sławomir Hausman

3. Historia zatrudnienia i przebieg pracy zawodowej

1985 - do dzisiaj Centralny Instytut Ochrony Pracy - Państwowy Instytut Badawczy
Zakład Ochron Osobistych

Stanowiska:

1987 - 1989 asystent,

1989 - 1994 starszy asystent,

1994 - do dzisiaj adiunkt,

1995 - do dzisiaj kierownik Pracowni Ochron Głowy i Sprzętu Zabezpieczającego przed Upadkiem z Wysokości.

W 1985 r. ukończyłem Wydział Elektryczny Politechniki Łódzkiej, kierunek: Elektronika, specjalność: Aparatura Elektroniczna i w tym samym roku rozpocząłem swoją pracę zawodową w Centralnym Instytucie Ochrony Pracy (CIOP). Zostałem zatrudniony w Zakładzie Ochron Osobistych CIOP w Pracowni Ochron Głowy i Sprzętu zabezpieczającego przed Upadkiem z Wysokości. W pierwszym okresie pracy zaznajomiłem się z problematyką stosowania środków ochrony indywidualnej, ich konstrukcją i wymaganiami. W realizacji tego celu pomogły mi krótkoterminowe staże u polskich producentów środków ochrony

indywidualnej. Szczególnie interesowałem się problematyką oddziaływania na organizm człowieka dynamicznych wielkości mechanicznych takich jak: przyspieszenia, siły, naciski oraz metodami ich pomiaru i analizy towarzyszących zdarzeniom wypadkowym.

W 1987 r. decyzją Rady Naukowej Instytutu zostałem powołany na stanowisko asystenta. W roku tym aktywnie włączyłem się w realizację zadań objętych Centralnym Planem Badawczo Rozwojowym (CPBR) nr 11.1 *Ochrona człowieka w środowisku pracy*, których głównym celem było opracowanie nowych wymagań oraz metod badań dla indywidualnego sprzętu chroniącego przed upadkiem z wysokości. Efektem prac zespołu, w skład którego wchodziłem, było opracowanie czterech Polskich Norm PN-90/Z-08055, PN-90/Z-08056, PN-90/Z-08057 i PN-90/Z-08058 dotyczących wymagań i metod badań dla takiego sprzętu jak: szelki bezpieczeństwa, pasy monterskie, linki bezpieczeństwa, amortyzatory włókiennicze, urządzenia samohamowne itp. Bardzo istotnym elementem prowadzonych wówczas prac, w których brałem czynny udział, było zaprojektowanie i zbudowanie podstawowych stanowisk badawczych pozwalających na ocenę parametrów ochronnych sprzętu. Na szczególną uwagę zasługuje tu elektroniczny system pomiarowy przeznaczony do badań sprzętu chroniącego przed upadkiem z wysokości w warunkach dynamicznych. Prace te prowadziłem pod kierownictwem doc. dr hab. inż. Andrzeja Materki z Instytutu Elektroniki Politechniki Łódzkiej oraz doc. dr inż. Mariana Doleckiego z CIOP.

Wyposażenie Pracowni Ochron Głowy i Sprzętu Zabezpieczającego przed Upadkiem z Wysokości w opracowaną aparaturę pomiarową pozwoliło mi na podjęcie badań zjawisk mechanicznych towarzyszących powstrzymywaniu spadania człowieka z wysokości. Moje zainteresowania skupiły się szczególnie na tworzeniu modeli numerycznych włókienniczych elementów sprzętu ochronnego oraz identyfikacji ich parametrów mechanicznych. Wyniki tych prac zaprezentowałem w referacie pt. *Model dynamiczny linki bezpieczeństwa* wygłoszonym na międzynarodowej konferencji - *Ochrona człowieka w środowisku pracy* (CIOP, Warszawa, 1990 r.). Podjęte przeze mnie prace dotyczyły również samodzielnego opracowania programów komputerowych przeznaczonych do analizy wyników badań w postaci przebiegów czasowych oraz identyfikacji, na ich podstawie, parametrów modeli.

Rezultaty prowadzonych w tym czasie badań przedstawiłem w 1994 r. w pracy doktorskiej. Moją działalność naukowo-badawczą przed uzyskaniem stopnia doktora nauk technicznych szczegółowo opisałem w załączniku nr 2 do wniosku o przeprowadzenie postępowania habilitacyjnego.

4. Wskazanie osiągnięcia naukowego, uzyskanego po otrzymaniu stopnia doktora, stanowiącego znaczny wkład w rozwój dyscypliny Włókiennictwo zgodnie z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki.

Zgodnie z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. 2016 poz. 882 ze zm. w Dz. U. z 2016 r. poz. 1311) przedstawiam **cykl publikacji powiązanych tematycznie jako osiągnięcie naukowe stanowiące postawę wniosku habilitacyjnego**. Prace badawcze i rozwojowe przedstawione w cyklu publikacji obejmują obszar i dziedzinę nauk technicznych w dyscyplinie naukowej *Włókiennictwo*. Ze względu na interdyscyplinarny charakter prowadzonych przeze mnie badań prace wykonywałem zespołowo, dodatkowo z uwzględnieniem obszarów kompetencji w dyscyplinie *Mechanika i Elektronika*.

4.1. Tytuł osiągnięcia naukowego

Rozwój metod badań i analiza zjawisk związanych z działaniem elementów włókienniczych indywidualnego sprzętu chroniącego przed upadkiem z wysokości w celu zapewnienia bezpieczeństwa jego użytkowników.

Jako mój znaczący wkład w dyscyplinę *Włókiennictwo* uznaję:

- opracowanie metod badań i określenie wpływu warunków atmosferycznych na charakterystyki amortyzatorów włókienniczych i urządzeń samozaciskowych z giętkimi przewodnikami w postaci lin włókienniczych,
- analizę czynników wpływających na obniżanie parametrów wytrzymałościowych elementów włókienniczych sprzętu chroniącego przed upadkiem z wysokości podczas jego użytkowania, na podstawie badań według autorskich metod,
- analizę zjawisk związanych z działaniem włókienniczych podzespołów łącząco-amortyzujących podczas powstrzymywania spadania z wysokości, które ze względu na poziomą instalację są poddawane tarciu o elementy konstrukcyjne stanowiska pracy,
- opracowanie metody oraz stanowiska do badania działania w warunkach dynamicznych poziomych lin kotwiczących dla indywidualnych systemów chroniących przed upadkiem z wysokości,
- opracowanie metod i stanowisk do badań charakterystyk siła obciążająca - wydłużenie lin i taśm włókienniczych dla potrzeb opracowania modeli numerycznych wybranych podzespołów sprzętu chroniącego przed upadkiem z wysokości,

- opracowanie metody i stanowiska badań skuteczności działania urządzeń samohamownych chroniących przed upadkiem z wysokości instalowanych do pionowych i poziomych lin kotwiczących,
- analizę zjawisk towarzyszących powstrzymywaniu spadania człowieka przez uprząże ochronne o różnej konstrukcji, na podstawie badań według autorskiej metody i stanowiska, wykorzystujących manekin antropomorficzny Hybrid III 50th Pedestrian ATD.

4.2. Wykaz prac naukowych

Osiągnięcie naukowe stanowiące podstawę wniosku habilitacyjnego przedstawiam na podstawie 7 artykułów z bazy JRC i 4 spoza bazy JRC:

H-1. **Baszczyński K.**, Zrobek Z. 2003. Test method for retractable type fall arresters designed for horizontal use. International Journal of Occupational Safety and Ergonomics, vol. 9, no. 3, 313-331. [MNiSW = 5]

Mój udział procentowy szacuję na 80% - dokonałem analizy zjawisk towarzyszących powstrzymywaniu spadania przez urządzenia samohamowne chroniące przed upadkiem z wysokości, wyposażone w taśmę włókienniczą lub linę stalową, w sytuacji gdy elementy te wchodzi w kontakt z krawędzią stanowiska pracy. Zaprojektowałem stanowisko badawcze, opracowałem metodę badań i brałem udział w badaniach laboratoryjnych. Dokonałem analizy wyników pod kątem sformułowania nowych wymagań dla urządzeń samohamownych chroniących przed upadkiem z wysokości w sytuacji ich poziomej instalacji. Opracowałem publikację i udzielałem odpowiedzi recenzentom.

H-2. **Baszczyński K.** 2004. Influence of weather conditions on the performance of energy absorbers and guided type fall arresters on a flexible anchorage line during fall arresting. Safety Science, 42, 519-536. [IF = 0,593; MNiSW = 8]

Mój udział procentowy wynosi 100% - opracowałem metodę kondycjonowania sprzętu ochronnego przed badaniami oraz metodę pomiaru siły powstrzymującej spадanie dla amortyzatorów włókienniczych i urządzeń samozaciskowych z giętkimi prowadnicami wykonanymi z lin włókienniczych. Opracowałem metodę określania maksymalnego wydłużenia amortyzatorów i urządzeń samozaciskowych opierającą się na pomiarze przyspieszeń masy obciążającej i podwójnym całkowaniu przebiegu przyspieszenia. Brałem udział w badaniach laboratoryjnych, dokonałem analizy wyników w odniesieniu do aktualnego stanu wiedzy, opracowałem publikację i udzielałem odpowiedzi recenzentom.

H-3. **Baszczyński K.** 2006. The influence of anchor devices on the performance of retractable type fall arresters protecting against falls from a height. International Journal of Occupational Safety and Ergonomics, vol. 12, no. 3, 307-318. [MNiSW = 5]

Mój udział procentowy wynosi 100% - dokonałem analizy zachowania sprzętu chroniącego przed upadkiem z wysokości instalowanego do elastycznych podzespołów kotwiczących np. poziomych lin wykonanych z lin kewlarowych lub stalowych. Opracowałem metodę i stanowisko do badania właściwości mechanicznych poziomych lin kotwiczących ze szczególnym uwzględnieniem parametrów ruchu drgającego podczas powstrzymywania spadania. Brałem udział w badaniach laboratoryjnych, analizie wyników i opracowaniu wymagań dla urządzeń samohamownych gwarantujących ich prawidłowe działanie podczas powstrzymywania spadania. Opracowałem publikację i udzielałem odpowiedzi recenzentom.

H-4. **Baszczyński K.** 2007. Dynamic strength tests for low elongation lanyards. International Journal of Occupational Safety and Ergonomics, vol. 13, no. 1, 39-48. [MNiSW = 10]

Mój udział procentowy wynosi 100% - dokonałem analizy dotychczas stosowanych metod badania linek bezpieczeństwa wykonanych z lin włókienniczych o różnej konstrukcji i wykonanych z różnych materiałów. Opracowałem nową metodykę badań. Brałem udział w badaniach i analizie otrzymanych wyników. Opracowałem publikację i udzielałem odpowiedzi recenzentom.

H-5. **Baszczyński K., Jachowicz M.** 2009. The effect of the use of full body harnesses on their protective properties. International Journal of Occupational Safety and Ergonomics, vol. 15, no. 4, p. 435-446. [IF = 0,407; MNiSW = 13]

Mój udział procentowy szacuję na 80% - dokonałem oceny uszkodzeń szelek bezpieczeństwa wycofanych z użytkowania, ze szczególnym uwzględnieniem taśm włókienniczych i szwów. Koordynowałem badania szelek w zakresie odporności na obciążenie statyczne. Opracowałem metody kondycjonowania sprzętu ochronnego symulujące stosowanie w warunkach stanowisk pracy. Analizowałem wyniki badań pod kątem efektów starzenia w warunkach naturalnych i symulowanych. Opracowałem publikację i udzielałem odpowiedzi recenzentom.

H-6. **Baszczyński K., Jachowicz M.** 2011. Effect of mechanical factors on the protective parameters of textile elements in personal equipment protecting against falls from a height. Fibres and Textiles in Eastern Europe, vol. 19, no 5(88), 117-124. [IF = 0,532; MNiSW = 25]

Mój udział procentowy szacuję na 80% - dokonałem analizy zjawisk towarzyszących powstrzymywaniu spadania w sytuacji, gdy włókienniczy podzespół łącząco-amortyzujący wchodzi w kontakt z elementami stanowiska pracy. Brałem udział w opracowaniu stanowisk i metod badań włókienniczych elementów sprzętu opasanych wokół ostrej krawędzi, w warunkach obciążenia statycznego i dynamicznego. Dokonałem analizy uzyskanych wyników, co pozwoliło na sformułowanie dodatkowych wymagań dla sprzętu chroniącego przed upadkiem z wysokości. Opracowałem publikację i udzielałem odpowiedzi recenzentom.

H-7. **Baszczyński K.**, Jachowicz M. 2012. Load-elongation characteristics of connecting and shock-absorbing components of personal fall arrest systems. *Fibres and Textiles in Eastern Europe*, vol. 20, no 6A(95), 78–85. [IF = 0,801; MNiSW = 25]

Mój udział procentowy szacuję na 80% - dokonałem analizy właściwości mechanicznych materiałów włókienniczych stosowanych w sprzęcie chroniącym przed upadkiem z wysokości. Opracowałem stanowisko do badań charakterystyk siła obciążająca wydłużenie w warunkach dynamicznych i koordynowałem badania lin i taśm włókienniczych. Dokonałem analizy uzyskanych wyników pod kątem ich zastosowania w modelach reologicznych. Opracowałem publikację i udzielałem odpowiedzi recenzentom.

H-8. **Baszczyński K.** 2013. Modeling the performance of selected textile elements of personal protective equipment protecting against falls from a height during fall arrest. *Fibres and Textiles in Eastern Europe*, vol. 21, no 4(100), 130–136. [IF= 0,541; MNiSW = 30]

Mój udział procentowy wynosi 100% - opracowałem model reologiczny wybranych materiałów włókienniczych stosowanych w sprzęcie chroniącym przed upadkiem. Wykorzystując wyniki badań laboratoryjnych przeprowadziłem identyfikację parametrów modelu. Uzyskane wyniki identyfikacji wykorzystałem do symulacji zachowania modelu w warunkach dynamicznych oraz jego weryfikacji w oparciu o wyniki badań laboratoryjnych. Opracowałem publikację i udzielałem odpowiedzi recenzentom.

H-9. **Baszczyński K.** 2015. Effect of Repeated Loading on Textile Rope and Webbing Characteristics in Personal Equipment Protecting Against Falls from a Height. *Fibres and Textiles in Eastern Europe*, vol. 23, no 4(112), 110-118. [IF = 0,566; MNiSW = 25]

Mój udział procentowy wynosi 100% - opracowałem opis zmiany parametrów mechanicznych elementów włókienniczych sprzętu chroniącego przed upadkiem pod wpływem kolejnych obciążeń. Opracowałem metodę badań charakterystyk

mechanicznych lin i taśm włókienniczych. Dokonałem analizy otrzymanych charakterystyk pod kątem ich zależności od kolejnych obciążeń oraz wpływu na zdolność pochłaniania energii podczas powstrzymywania spadania z wysokości. Opracowałem publikację i udzielałem odpowiedzi recenzentom.

H-10. **Baszczyński K.** 2016. The application of a Hybrid III anthropomorphic dummy in testing personal fall arrest equipment. Measurement Automation Monitoring, vol. 62, no 12, 429-433. [MNiSW = 11]

Mój udział procentowy wynosi 100% - opracowałem metodę badania sprzętu chroniącego przed upadkiem z wysokości podczas powstrzymywania spadania z ruchem wahadłowym i uderzeniem o przeszkodę. W metodzie zastosowano manekin antropomorficzny Hybrid III Pedestrian. Brałem udział w projektowaniu i konstruowaniu stanowiska badawczego. Dokonałem analizy wyników pod kątem wpływu konstrukcji szelek bezpieczeństwa na zagrożenia dla człowieka podczas zderzenia ze sztywną płaską przeszkodą. Opracowałem publikację i udzielałem odpowiedzi recenzentom.

H-11. **Baszczyński K.** 2017. Modeling the performance of horizontal anchor lines during fall arrest. Fibres and Textiles in Eastern Europe, vol. 25, no 5(125), 95-103. [IF = 0,626; MNiSW = 25]

Mój udział procentowy wynosi 100% - opracowałem model poziomej liny kotwicznej w układzie jedno i wiele przęsłowym. Wykorzystując opracowany model przeprowadziłem symulację zachowania poziomych lin kotwicznych podczas powstrzymywania spadania z wysokości. Brałem udział w zaprojektowaniu konstrukcji stanowiska badawczego i prowadziłem badania lin kotwicznych. Dokonałem porównania symulacji numerycznych modelu z wynikami badań laboratoryjnych rzeczywistych obiektów. Opracowałem publikację i udzielałem odpowiedzi recenzentom.

4.3. Omówienie celu naukowego w/w prac i osiągniętych wyników, wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania

Moje zainteresowania naukowe związane z wymaganiami i metodami badań indywidualnego sprzętu chroniącego przed upadkiem z wysokości, przeznaczonego do stosowania zarówno w środowisku pracy jak podczas uprawiania sportu i rekreacji, wynikały bezpośrednio z potrzeby podniesienia bezpieczeństwa ludzi narażonych na zagrożenie upadkiem na niższy poziom. O skali problemu zagrożenia upadkiem z wysokości najlepiej świadczą dane dotyczące wypadków przy pracy prezentowane corocznie przez Główny Urząd Statystyczny (GUS) oraz Państwową Inspekcję Pracy (PIP). Raporty GUS i PIP pokazują, że w ciągu roku w Polsce z powodu upadku z wysokości ginie kilkadziesiąt osób, a wielokrotnie więcej doznaje poważnych

uszkodzeń ciała. Problem ten jest równie istotny w pozostałych krajach Unii Europejskiej.

Zarówno w Polsce jak i innych krajach Unii Europejskiej stosowanie indywidualnego sprzętu ochronnego pozostaje ciągle jedną z najpopularniejszych metod zabezpieczania ludzi przed upadkiem z wysokości w środowisku pracy. O popularności tej metody decyduje łatwość zestawienia poszczególnych składników sprzętu w zestawy dopasowane do warunków różnych stanowisk pracy, relatywnie niskie koszty sprzętu i łatwość jego użytkowania. W przypadku uprawiania sportu i rekreacji np. wspinaczki wysokogórskiej i skałkowej, speleologii, turystyki górskiej itp. jak do tej pory nie ma sensownej alternatywy do stosowania indywidualnego sprzętu chroniącego przed upadkiem z wysokości.

Typowy indywidualny zestaw przeznaczony do powstrzymywania spadania z wysokości składa się z trzech podstawowych składników: podzespołu kotwiczącego, podzespołu łączącego - amortyzującego i szelek bezpieczeństwa. Podzespół kotwiczący wiąże zestaw ochronny z konstrukcją stanowiska pracy. Przykładami typowych rozwiązań podzespołów kotwiczących są zatrzaski, poziome liny i szyny kotwiczące, włókiennicze zaczepy taśmowe, bezwładne masy kotwiczące itp. Podzespół łączący - amortyzujący jest ogniwem pomiędzy podzespołem kotwiczącym, a szelkami bezpieczeństwa, w które jest ubrany człowiek. Jego głównym zadaniem jest powstrzymanie spadania człowieka oraz złagodzenie jego skutków. Przykładami powszechnie stosowanego obecnie sprzętu są: linki bezpieczeństwa z amortyzatorami włókienniczymi, urządzenia samohamowne i urządzenia samozaciskowe z giętką i sztywną prowadnicą. Ostatnim składnikiem podstawowego zestawu ochronnego, bezpośrednio związanym z człowiekiem, są szelki bezpieczeństwa. Głównym zadaniem szelek jest podtrzymanie ciała człowieka podczas powstrzymywania spadania z wysokości, rozłożenie sił dynamicznych na najbardziej odporne części ciała i nadanie człowiekowi bezpiecznej pozycji podczas oczekiwania na pomoc.

Większość rozwiązań konstrukcyjnych indywidualnego sprzętu chroniącego przed upadkiem z wysokości zawiera elementy włókiennicze. Są to najczęściej liny o różnej konstrukcji, np. skręcane, plecione, rdzeniowe, oraz tkane taśmy włókiennicze najczęściej o szerokości od około 20 do 50 mm. Długości wykorzystywanych odcinków lin mogą sięgać kilkudziesięciu metrów. Właściwości mechaniczne sprzętu chroniącego podczas przed upadkiem decydują o przebiegu procesu powstrzymywania spadania, to znaczy sile hamującej i drodze na której to następuje, a co za tym idzie bezpieczeństwie człowieka.

Skala stosowania środków ochrony indywidualnej w Unii Europejskiej powoduje, że ich producenci wprowadzają na rynek coraz nowsze, skuteczniejsze rozwiązania.

Nowości te dotyczą zarówno materiałów, konstrukcji mechanicznych oraz wspomagających urządzeń elektronicznych. Zgodnie z dotychczasowymi przepisami obowiązującym w Unii Europejskiej warunkiem koniecznym dopuszczenia do sprzedaży nowego rozwiązania środka ochrony indywidualnej jest potwierdzenie jego zgodności z Dyrektywą 89/686/EWG. Potwierdzenie to odbywa się na podstawie wyników badań prowadzonych w oparciu o Normy Europejskie (EN) zharmonizowane z tą dyrektywą. Biorąc pod uwagę kilkuletni cykl nowelizacji norm EN często nowo powstające konstrukcje sprzętu wyprzedzają istniejące wymagania i metody badań. W związku z tym laboratoria badawcze stają często przed koniecznością opracowywania zmodyfikowanych lub całkowicie nowych metod badań pozwalających na ocenę bezpieczeństwa. Wśród badań jakim są poddawane nowe konstrukcje indywidualnego sprzętu chroniącego przed upadkiem z wysokości można wskazać następujące główne grupy:

- badania o charakterze wytrzymałościowym prowadzone w warunkach obciążeń statycznych i dynamicznych,
- badania wpływu czynników zewnętrznych, występujących w środowisku pracy, takich jak np. niskie i wysokie temperatury, wilgotność, promieniowanie UV, zapylenie, zaolejenie, czynniki korozyjne i inne, na działanie sprzętu,
- badania wpływu starzenia i zużycia sprzętu na jego parametry wytrzymałościowe oraz poprawność działania,
- badania skuteczności działania podczas powstrzymywania spadania,
- badania podstawowych wielkości charakteryzujących proces powstrzymywania spadania z wysokości np. przebiegów czasowych siły i drogi hamowania,
- badania czynników mechanicznych takich jak siły, przyspieszenia, naciski itp. działających na człowieka na skutek powstrzymywania jego spadania przez sprzęt ochronny,
- badania kompatybilności składników sprzętu połączonych w zestaw, np. podzespołów łącząco-amortyzujących i urządzeń kotwiczących.

Wymienione metody badań, wiążące się bezpośrednio z nimi stanowiska badawcze oraz wymagania dla sprzętu ochronnego pozostają w centrum moich zainteresowań naukowych. Poniżej przedstawiam omówienie moich najważniejszych osiągnięć naukowych i aplikacyjnych w tym zakresie.

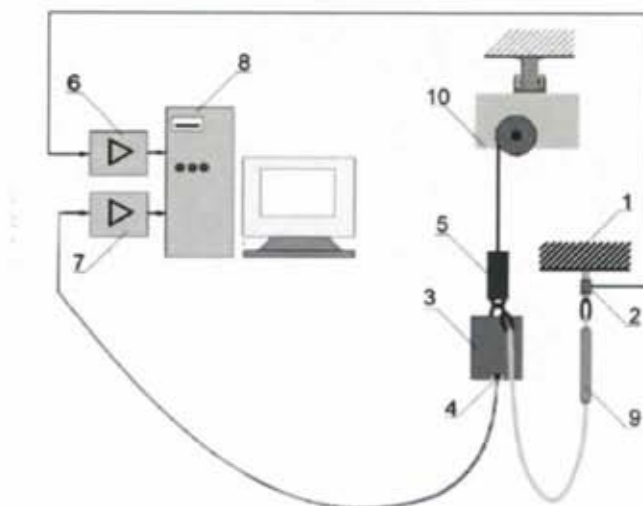
Opracowanie metod badań i określenie wpływu warunków atmosferycznych na parametry ochronne amortyzatorów włókienniczych i urządzeń samozaciskowych z giętkimi przewodnikami w postaci lin włókienniczych.

W 1998 r. w CIOP-PIB w charakterze kierownika podjąłem projekt badawczy nr 03.9.14 pt. *Analiza wpływu wilgoci oraz niskich i wysokich temperatur na parametry ochronne podzespołów łącząco-amortyzujących zawierających elementy włókiennicze* realizowany w ramach Strategicznego Programu Rządowego (SPR-1) pn. *Bezpieczeństwo i ochrona zdrowia człowieka w środowisku pracy*. Głównym celem projektu było określenie wpływu czynników środowiskowych takich jak: temperatura, wilgotność, zanurzenie w wodzie, zamarzanie po wcześniejszym zamoczeniu w wodzie na zachowanie podczas powstrzymywania spadania podzespołów łącząco-amortyzujących sprzętu chroniącego przed upadkiem z wysokości zawierających elementy włókiennicze. Zachowanie sprzętu było charakteryzowane za pomocą przebiegów czasowych wydłużenia podzespołu oraz działającej w nim siły. Na podstawie doniesień literaturowych, wskazujących na wpływ wymienionych czynników na parametry mechaniczne struktur lin i taśm włókienniczych oraz stosowanych włókien sztucznych, **założyłem, że podstawowymi obiektami badań będą: amortyzatory włókiennicze i urządzenia samozaciskowe z giętkimi przewodnikami wykonanymi z poliamidowych i poliestrowych lin włókienniczych, a podstawowymi mierzonymi wielkościami:**

- **maksymalna wartość siły powstrzymującej spадanie, mierzona w punkcie kotwiczenia podzespołu do konstrukcji nośnej,**
- **maksymalna wartość wydłużenia dynamicznego podzespołu podczas powstrzymywania spadania z wysokości.**

Wielkości te mają bezpośredni wpływ na bezpieczeństwo użytkowników sprzętu ochronnego. Decydują one o przyspieszeniu jakiemu jest poddawany człowiek, naciskach wywieranych przez taśmy szelek na poszczególne jego części ciała oraz wielkości drogi powstrzymywania spadania.

W celu uzyskania niezbędnych dla analizy wyników **opracowałem metodę badań oraz projekt stanowiska (rys. 1) pozwalającego na pomiar przebiegu siły działającej w punkcie kotwiczenia podzespołu łącząco-amortyzującego podczas powstrzymywania spadania sztywnego obciążnika badawczego oraz wydłużenia dynamicznego podzespołu.**



Rys. 1. Stanowisko do badań podzespołów łącząco-amortyzujących w zakresie siły powstrzymującej spadanie i wydłużenia dynamicznego. Oznaczenia: 1 – sztywna konstrukcja nośna, 2 – przetwornik pomiarowy siły (U9B-20kN Hottinger), 3 – sztywny obciążnik o masie $m=100$ kg, 4 – przetwornik przyspieszeń (7267A Endevco), 5 – zaczep elektromagnetyczny do inicjowania spadania obciążnika, 6 – wzmacniacz z filtrem analogowym (AE-101 Hottinger), 7 – wzmacniacz z filtrem analogowym (106 Endevco), 8 – komputer z systemem akwizycji danych (DAP-1200e - Datalog), 9 - badany amortyzator z linką bezpieczeństwa, 10 - dźwиг.

Na szczególną uwagę zasługuje metoda pomiaru wydłużenia dynamicznego badanego podzespołu. Ze względu na gwałtowny i destrukcyjny charakter procesu powstrzymywania spadania sztywnego obciążnika badawczego o masie 100 kg nie było możliwości użycia ekstensometrów bezpośrednio mierzących wydłużenie podzespołu. W związku z tym **opracowałem metodę pośrednią opierającą się na pomiarze przyspieszenia obciążnika badawczego w trzech ortogonalnych osiach.** Zarejestrowane przebiegi czasowe przyspieszeń były danymi wejściowymi dla **programu komputerowego, mojego autorstwa**, realizującego algorytm podwójnego całkowania. Dzięki temu uzyskiwano czasowy przebieg drogi spadania obciążnika odpowiadający wydłużeniu badanego podzespołu.

Dla potrzeb badań opracowałem metody wstępnego kondycjonowania sprzętu oraz procedury jego przenoszenia i instalowania w stanowisku badawczym. Procedury te pozwalały na przeprowadzenie badań w czasie nie dłuższym niż 60 s od chwili wyjęcia sprzętu z urządzeń kondycjonujących, co zapewniło, że miał on założoną, temperaturę, wilgotność, załadunek itp.

Przeprowadzone badania amortyzatorów włókienniczych oraz urządzeń samozaciskowych z giętkimi przewodnikami pozwoliły na sformułowanie bardzo istotnych wniosków:

- wpływ warunków kondycjonowania na parametry sprzętu zależał głównie od konstrukcji zastosowanych elementów włókienniczych np. taśm amortyzujących;

- zwiększenie temperatury kondycjonowania (od -35 do +50°C) i wilgotności powodowało znaczny wzrost wydłużeń sprzętu podczas powstrzymywania spadania z wysokości;
- kondycjonowanie amortyzatorów włókienniczych w warunkach symulujących wystawienie na działanie deszczu powodowało istotne zwiększenie ich wydłużeń oraz siły hamującej;
- kondycjonowanie niektórych typów amortyzatorów włókienniczych w temperaturach wyższych od +30°C i wilgotności względnej powyżej 75% powodowało na tyle istotne obniżenie średniej wartości siły hamowania, że prowadziło do całkowitego rozdarcia taśmy amortyzującej. W efekcie maksymalna wartość siły hamującej przekraczała dopuszczalną, bezpieczną dla człowieka, wartość 6 kN;
- kondycjonowanie amortyzatorów w warunkach symulujących zamarzanie mokrego sprzętu wywoływało tak znaczący wzrost maksymalnej wartości siły hamującej, że przekraczała ona dopuszczalną wartość 6 kN;
- poddanie giętkich przewodnic urządzeń samozaciskowych wykonanych z lin poliamidowych i poliestrowych kondycjonowaniu symulującemu opady deszczu lub wysoką wilgotność powietrza wywoływało największy wzrost ich wydłużeń dynamicznych. W praktyce wywołuje to znaczący wzrost drogi powstrzymywania spadania człowieka i zwiększa ryzyko jego zderzenia z elementami stanowiska pracy lub podłoża.

Powyższe wnioski z przeprowadzonych badań opisałem szczegółowo w **publikacji H-2**.

Przeprowadzone prace miały pionierski charakter, a wynikające z nich wnioski posiadały aspekt naukowy i praktyczny. W związku z tym przekazano je producentom sprzętu ochronnego w celu wykorzystania w instrukcjach użytkowania. Wpłynęło to na podniesienie bezpieczeństwa użytkowników indywidualnego sprzętu chroniącego przed upadkiem z wysokości.

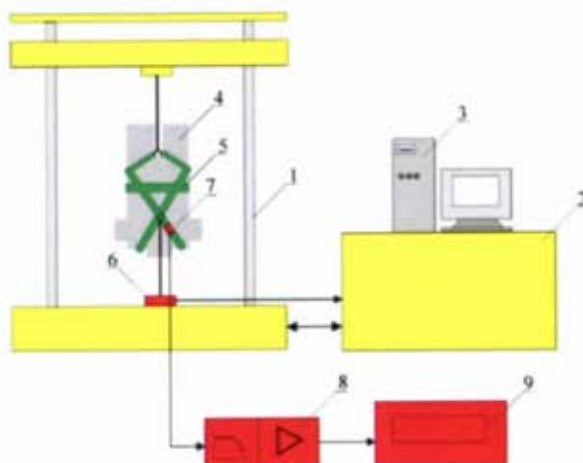
Analiza czynników wpływających na obniżanie parametrów wytrzymałościowych elementów włókienniczych sprzętu chroniącego przed upadkiem z wysokości podczas jego użytkowania, na podstawie badań według autorskich metod.

Dalsze moje badania ukierunkowałem na zjawiska powodujące spadek wytrzymałości sprzętu chroniącego przed upadkiem wywołany na skutek jego użytkowania w warunkach przemysłowych. Badania dotyczyły głównie upręży i podzespołów łącząco-amortyzujących, które są wytwarzane z materiałów włókienniczych.

Prace w tym zakresie były prowadzone w latach 2006 - 2010 w trzech kierowanych przeze mnie projektach:

- nr - 03.5 (2006-2007) pt. *Opracowanie metodyki badań dla potrzeb szacowania dopuszczalnego okresu użytkowania uprząży chroniących przed upadkiem z wysokości realizowanego w ramach programu wieloletniego pn. Dostosowywanie warunków pracy w Polsce do standardów Unii Europejskiej;*
- nr - 3.S.17 (2008-2010) pt. *Opracowanie materiałów informacyjnych wspomagających pracowników w samodzielnej kontroli użytkowanych środków ochrony indywidualnej realizowanego w ramach programu wieloletniego pn. Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy;*
- nr - 3.S.16 (2009-2010) pt. *Opracowanie metod badań i kryteriów oceny odporności na uszkodzenia mechaniczne elementów włókienniczych sprzętu chroniącego przed upadkiem z wysokości w ramach programu wieloletniego pn. Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy.*

Badania sprzętu były prowadzone według opracowanej przeze mnie metodyki, która obejmowała odporność na obciążenie statyczne kompletnych uprząży oraz wytrzymałość wypreparowanych z nich taśm włókienniczych. Badania, prowadzone na stanowisku przedstawionym na rys. 2, polegały na obciążaniu uprząży założonej na sztywny manekin, zgodny z normą PN-EN 364:1996 *Indywidualny sprzęt chroniący przed upadkiem z wysokości. Metody badań*, siłą statyczną o wartości 15 kN, utrzymywaną przez okres 3 min.



Rys. 2. Badania odporności na obciążenie statyczne szelek bezpieczeństwa wycofanych z użytkowania. Oznaczenia: 1 – maszyna wytrzymałościowa Zwick ZS-100, 2 – moduł sterujący maszyny, 3 – komputer sterujący, 4 – manekin sztywny, 5 – szelki bezpieczeństwa, 6 – przetwornik pomiarowy siły maszyny wytrzymałościowej, 7 – przetwornik pomiarowy siły w taśmie włókienniczej typ EL20 Entran, 8 – wzmacniacz z filtrem analogowym typ AE-101 (Hottinger), 9 – multimetr cyfrowy G-1002-500.

Podczas badań rejestrowano pojawiające się uszkodzenia oraz uwolnienie manekina przez uprząż. Taśmy włókiennicze wypreparowane z użytkowanych uprząży były poddawane, za pomocą maszyny wytrzymałościowej Zwick Z100/SW5A, działaniu wolno narastającej siły rozciągającej i rejestrowano jej maksymalną wartość poprzedzającą zerwanie. Uzyskane wyniki badań pozwoliły na wyciągnięcie następujących głównych wniosków:

- użytkowanie sprzętu wpływało na obniżenie jego parametrów wytrzymałościowych i można było zauważyć związek między czasem użytkowania a wielkością uszkodzeń występujących podczas obciążania w badaniach,
- najczęstszą przyczyną negatywnych wyników badań były uszkodzenia szwów łączących taśmy włókiennicze w uprężach oraz uszkodzenia taśm w miejscach ich współpracy z metalowymi klamrami,
- upręże o zbliżonej konstrukcji, niezależnie od różnorodności stanowisk pracy, na których były użytkowane, dawały zbliżone wyniki badań w postaci uszkodzeń pod wpływem obciążenia badawczego.

Konsekwencją zidentyfikowania znaczącej utraty wytrzymałości sprzętu ochronnego na skutek użytkowania było podjęcie przeze mnie badań poszczególnych czynników powodujących taki efekt. W kolejnych badaniach skoncentrowałem się na zjawisku starzenia poliamidowych i poliestrowych taśm włókienniczych oraz ich połączeń wykonanych w postaci szwów, stosowanych w uprężach chroniących przed upadkiem z wysokości oraz podzespołach łącząco-amortyzujących, pod wpływem promieniowania widzialnego oraz UV. Dla tego celu **opracowałem metodykę naświetlania próbek rozważanych materiałów włókienniczych za pomocą promieniowania o widmie odpowiadającym światłu słonecznemu oraz widmie rozszerzonym o promieniowanie UV z zakresu długości fali $\lambda < 290$ nm**. Badania te były prowadzone za pomocą przyrządu Xenotest-450 oraz stanowiska, w którym zastosowano lampę ksenonową XBO 450W/4 firmy Osram. Próbki poddane zaplanowanym cyklom naświetlań były następnie poddawane statycznym obciążeniom rozciągającym, podczas których rejestrowano maksymalne wartości sił poprzedzających zerwanie. Przeprowadzone badania wykazały wrażliwość taśm włókienniczych zarówno na działanie naturalnego promieniowania słonecznego jak i sztucznego, emitowanego np. podczas spawania łukowego. Analiza uzyskanych wyników **pozwoliła na ustalenie relacji między czasem ekspozycji na promieniowanie o widmie światła słonecznego, a czasem naświetlania za pomocą przyrządu z lampą XBO 450W/4**. Zaproponowana przeze mnie metoda starzenia za pomocą przyrządu z lampą XBO 450W/4 powodowała 20-krotne przyspieszenie starzenia w porównaniu z przyrządem Xenotest-450. Przeprowadzone badania za pomocą maszyny wytrzymałościowej

wykazały istotny spadek wytrzymałości wraz z wydłużeniem czasu ekspozycji na promieniowanie. Oznacza to, że działanie naturalnego promieniowania słonecznego jak i sztucznego, a szczególnie z zakresu UV, jest jednym z głównych czynników powodujących utratę wytrzymałości sprzętu zabezpieczającego przed upadkiem z wysokości zawierające elementy włókiennicze.

Analiza stanu technicznego szelek bezpieczeństwa, wycofanych z użytkowania, w wielu przypadkach wykazywała silne zabrudzenia. Dotyczyło to szczególnie sprzętu użytkowanego w firmach budowlanych, a zabrudzenia sugerowały wnikięcie pyłu np. drobnego piasku w strukturę taśm włókienniczych. W związku z tym podjąłem badania wpływu zanieczyszczeń pyłowych na wytrzymałość taśm i lin włókienniczych. Dla potrzeb badań **wykorzystałem zmodyfikowaną przeze mnie wersję stanowiska, opracowanego w Health & Safety Laboratory w Wielkiej Brytanii, do wprowadzenia pyłu w struktury taśm i lin włókienniczych.** Opracowana modyfikacja, polegająca na zastosowaniu cyklicznego trybu pracy maszyny wytrzymałościowej Tiratest 2300, pozwoliła na uzyskanie posuwisto-zwrotnego ruchu kondycjonowanej próbki w zastosowanym pyłe. Próbkę taśm i lin były poddawane kondycjonowaniu z różną liczbą cykli przemieszczania po rolkach prowadzących w drobnoziarnistym piasku. Zastosowana liczba cykli zawierała się w granicach od 5 do 200. W efekcie przeprowadzonej analizy wyników badań sformułowałem następujące wnioski:

- spadek wartości siły zrywającej dla taśm poddanych kondycjonowaniu przekraczał w skrajnych przypadkach 30% wartości dla nowego materiału;
- względny spadek siły zrywającej był większy w przypadku taśm o większej szerokości;
- kondycjonowanie w pyłe wywoływało większy spadek siły zrywającej w przypadku taśm niż lin włókienniczych, co wynikało z różnych proporcji powierzchni próbek do ich objętości;
- wnikiwanie pyłu w strukturę taśm i lin miało charakter powierzchniowy i zwiększanie liczby cykli kondycjonowania ponad 20 nie powodowało dalszego obniżenia siły zrywającej.

Uzyskane wyniki badań pozwoliły na sformułowanie praktycznych informacji dotyczących wpływu „zabrudzeń” pyłami materiałów włókienniczych stosowanych w sprzęcie chroniącym przed upadkiem z wysokości na utratę jego wytrzymałości w trakcie użytkowania.

Ocena wzrokowa sprzętu chroniącego przed upadkiem z wysokości wycofanego po kilku latach użytkowania wykazała także liczne uszkodzenia mechaniczne taśm i lin włókienniczych. Uszkodzenia te dotyczyły zarówno ich powierzchni jak i brzegów. Dla głębszego poznania tego zjawiska **przeprowadziłem badania,**

w których oceniano wpływ zasymulowanych uszkodzeń nowych taśm włókienniczych na ich wytrzymałość. Uszkodzenia objęły nacięcia taśm wykonane na różną głębokość prostopadle do ich brzegu oraz przetarcia powierzchni o różnej głębokości. Uzyskane wyniki potwierdziły, że tego typu uszkodzenia mechaniczne w istotny sposób obniżają wartość siły zrywającej elementów sprzętu chroniącego przed upadkiem z wysokości.

Przeprowadzone badania oraz wynikające z nich wnioski opisałem szczegółowo w publikacji H-5.

Przedstawione wyniki badań oprócz znaczenia naukowego miały również bardzo istotne znaczenie praktyczne. Pozwoliły one na sformułowanie wytycznych do kontroli stanu technicznego środków ochrony indywidualnej, a szczególnie sprzętu chroniącego przed upadkiem z wysokości, podczas użytkowania. Wytyczne te, pod moją redakcją, zostały opracowane w formie poradnika, wydanego przez CIOP-PIB, adresowanego do użytkowników środków ochrony indywidualnej oraz służb BHP w zakładach pracy.

Analiza zjawisk związanych z działaniem włókienniczych podzespołów łącząco-amortyzujących podczas powstrzymywania spadania z wysokości, które ze względu na poziomą instalację są poddawane tarcia o elementy konstrukcyjne stanowiska pracy.

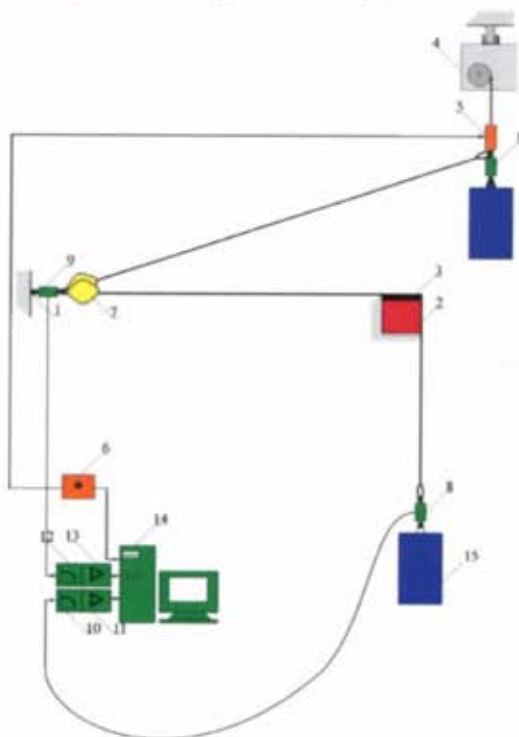
Równocześnie z przedstawionymi powyżej pracami zainicjowałem program badań, którego głównym celem było określenie jaki wpływ na działanie podzespołów łącząco-amortyzujących takich jak: linki bezpieczeństwa, amortyzatory włókiennicze, urządzenia samohamowne i samozaciskowe z giętkimi prowadnicami wywierają czynniki mechaniczne działające na elementy włókiennicze podczas powstrzymywania spadania z wysokości. Prace w tym zakresie były prowadzone w kierowanych przeze mnie dwóch projektach:

- nr 3.2 (2001-2003), pt. *Opracowanie wymagań i zasad stosowania dla urządzeń samohamownych chroniących przed upadkiem z wysokości instalowanych w poziomie w ramach Projektu Celowego Zamawianego PCZ 16-21 pn. System analizy wydarzeń wypadkowych w środowisku pracy dla potrzeb profilaktyki,*
- nr - 3.S.16 (2009-2010), pt. *Opracowanie metod badań i kryteriów oceny odporności na uszkodzenia mechaniczne elementów włókienniczych sprzętu chroniącego przed upadkiem z wysokości w ramach Programu Wieloletniego pn. Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy.*

Jako najważniejsze rozważane zjawisko uznałem tarcie pomiędzy elementem włókienniczym podzespołu łącząco-amortyzującego, a opasaną przez niego krawędzią stanowiska pracy, powstające podczas powstrzymywania spadania z wysokości wywołanego np. wypadnięciem za krawędź dachu.

W pierwszej kolejności dla oceny zjawiska **opracowałem metodę badania wytrzymałości taśm i lin włókienniczych opasanych wokół krawędzi, o zadanym promieniu zaokrąglenia, stalowego profilu**. Przeprowadzone badania wykazały, w przypadku ostrych profili, np. ciętej na gilotynie blachy, drastyczny tzn. kilkudziesięcioprocentowy spadek siły zrywającej materiałów włókienniczych stosowanych w podzespołach łącząco-amortyzujących, co w warunkach stosowania sprzętu oznacza poważne zagrożenie dla człowieka.

Konsekwencją badań w warunkach statycznych było określenie zjawisk towarzyszących powstrzymywaniu spadania w warunkach dynamicznych. Dla tego celu **rozwinąłem metodę badań zaproponowaną przez European Co-ordination of Notified Bodies Vertical Group VG-11 „Protection against falls from a height” i opracowałem stanowisko do badania podzespołów łącząco-amortyzujących, które jest przedstawione schematycznie na rys. 3 i w artykułach H-1 i H-6.**



Rys.3. Stanowisko do badania działania podczas powstrzymywania spadania poziomo zainstalowanych podzespołów łącząco-amortyzujących. Oznaczenia: 1 - sztywna konstrukcja nośna, 2 - poprzeczna belka oporowa, 3 - krawędź testowa, 4 - dźwig, 5 - zaczep elektromagnetyczny, 6 - urządzenie sterujące zaczepem, 7 - obiekt badań (urządzenie samohamowne), 8, 9 - przetwornik pomiarowy siły (U9B-20kN Hottinger), 10, 11, 12, 13 - wzmacniacz z filtrem analogowym (AE-101 Hottinger), 14 - komputer z systemem akwizycji danych (DAP-1200e - Datalog), 15 - sztywny obciążnik o masie $m=100$ kg.

Istotą metody badania jest określenie zachowania podzespołu łącząco-amortyzującego, np. urządzenia samohamownego, podczas powstrzymywania spadania sztywnego obciążnika, w sytuacji gdy jego taśma/linka trze się o krawędź belki oporowej.

W zależności od usytuowania obiektu badań jego taśma/linka przesuwana się tylko w kierunku prostym lub prostym i równoległym do krawędzi belki. Dla stanowiska badawczego zaprojektowałem wymienne krawędzie belki oporowej wykonane: ze stalowych profili o różnym promieniu zaokrąglenia (od nieobrobionej blachy ciętej na gilotynie - do płaskownika z krawędzią o promieniu zaokrąglenia $r = 1$ mm); z belki drewnianej oraz belki betonowej. **Według mojego projektu stanowisko zostało wyposażone w dwa przetworniki pomiarowe siły (8) i (9) co pozwoliło na podstawie zarejestrowanych sygnałów czasowych sił obliczyć przebieg dynamicznego przemieszczenia obciążnika.** Wykorzystując przedstawione stanowisko przeprowadziłem badania następujących rodzajów podzespołów łącząco-amortyzujących:

- linek bezpieczeństwa wykonanych z lin włókienniczych o różnej konstrukcji (np. dynamicznej i statycznej liny wspinaczkowej, poliestrowych i poliamidowych lin skręcanych, tkanych taśm poliamidowych, lin z oplotem z włókien aramidowych, poliamidowych lin rdzeniowych),
- amortyzatorów włókienniczych trwale połączonych z poliamidowymi linkami bezpieczeństwa,
- urządzeń samohamownych wyposażonych w taśmy włókiennicze i linki stalowe,
- urządzeń samozaciskowych wyposażonych w giętkie prowadnice wykonane z lin włókienniczych.

Analiza uzyskanych wyników pozwoliła na wyciągnięcie następujących głównych wniosków w stosunku do zjawisk towarzyszących działaniu instalowanych w poziomie podzespołów łącząco-amortyzujących:

- tarcie podzespołu o krawędź belki może prowadzić do całkowitego jego przecięcia już pod działaniem siły o wartości około 3 kN. Przypadki te dotyczą zarówno sprzętu z elementami włókienniczymi jak i lin stalowych;
- pozioma instalacja podzespołów łącząco-amortyzujących może prowadzić podczas powstrzymywania przez nie spadania, do przekroczenia bezpiecznej wartości siły 6 kN działającej na człowieka poprzez szelki bezpieczeństwa. Zjawisko to wynika z sumowania się siły tarcia z siłą hamowania podzespołu łącząco-amortyzującego;
- Najgorszymi warunkami, z punktu widzenia wytrzymałości, dla podzespołów łącząco-amortyzujących instalowanych w poziomie są przypadki, gdy kąt jaki tworzy podzespół z krawędzią wokół, której jest opasany, jest różny od 90° . Wówczas podczas powstrzymywania spadania podzespół przemieszcza się prostopadle i wzdłuż krawędzi belki, co jak potwierdziły badania jest najbardziej destrukcyjne dla materiałów włókienniczych.

Powyższe zagadnienia wraz z wnioskami z przeprowadzonych badań opisałem szczegółowo w publikacjach H-1 i H-6. Przeprowadzone badania wykazały, że spełnienie podstawowych wymagań Norm Europejskich zharmonizowanych z Dyrektywą 89/686/EWG przez linki bezpieczeństwa, urządzenia samohamowne i samozaciskowe nie jest równoznaczne z możliwością ich bezpiecznego stosowania w przypadku poziomej instalacji. Z tego względu opracowałem również wymagania, które musi spełniać podzespół łącząco-amortyzujących, który według deklaracji producenta może być instalowany w poziomie. Przedstawione stanowisko badawcze zostało wdrożone w CIOP-PIB od systemu badań i certyfikacji środków ochrony indywidualnej.

Opracowanie metody oraz stanowiska do badania działania w warunkach dynamicznych poziomych lin kotwiczących dla indywidualnych systemów chroniących przed upadkiem z wysokości.

Wiele stanowisk pracy na wysokości wymaga od pracowników przemieszczania się w poziomie przy jednoczesnym ich zabezpieczeniu przed upadkiem. Podstawowym rozwiązaniem tego problemu jest zastosowanie poziomych lin kotwiczących instalowanych do konstrukcji nośnej stanowiska pracy, do których są mocowane przesuwne łączniki podzespołów łącząco-amortyzujących. Stosowanie poziomych lin kotwiczących, wykonanych zarówno z lin włókienniczych jak i lin stalowych, wiąże się z bardzo istotnymi problemami natury technicznej, rzutującymi na bezpieczeństwo ludzi, takimi jak:

- wydłużenie (ugięcie) lin wpływające bezpośrednio na wielkość drogi powstrzymywania spadania człowieka,
- siły działające w skrajnych i pośrednich punktach mocowania liny do konstrukcji nośnej podczas powstrzymywania spadania,
- siła działająca w dołączonym podzespole łącząco-amortyzującą, przekazywana na człowieka przez szelki bezpieczeństwa podczas powstrzymywania spadania.

Problem metod badań, wymagań oraz tworzenia modeli numerycznych poziomych lin kotwiczących wykonanych z materiałów włókienniczych (lin i taśm) zajął szczególne miejsce w moich zainteresowaniach naukowych. Konsekwencją tego było podjęcie w charakterze kierownika dwóch następujących projektów badawczych:

- nr III.16.3 (1995-1997) pt. *Opracowanie systemów kotwienia sprzętu chroniącego przed upadkiem z wysokości w celu zwiększenia bezpieczeństwa i swobody poruszania się użytkownika na stanowisku pracy realizowanego w ramach Strategicznego Programu Rządowego (SPR-1) pn. Bezpieczeństwo i ochrona zdrowia człowieka w środowisku pracy,*

- nr 3.Z.13 (2014-2016) pt. *Opracowanie wytycznych konstrukcyjnych, wymagań i metod badań systemów kotwiczących sprzętu chroniącego przed upadkiem z wysokości przeznaczonych do stosowania przez kilku użytkowników realizowanego w ramach Programu Wieloletniego pn. Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy* oraz udział w charakterze wykonawcy w projekcie:
- nr 3.1 (2001-2003) pt. *Opracowanie modelowych rozwiązań amortyzatorów dla poziomych lin kotwiczących chroniących przed upadkiem z wysokości i związanymi z nimi urazami* realizowanego w ramach Projektu Celowego Zamawianego PCZ 16-21 pn. *System analizy wydarzeń wypadkowych w środowisku pracy dla potrzeb profilaktyki*.

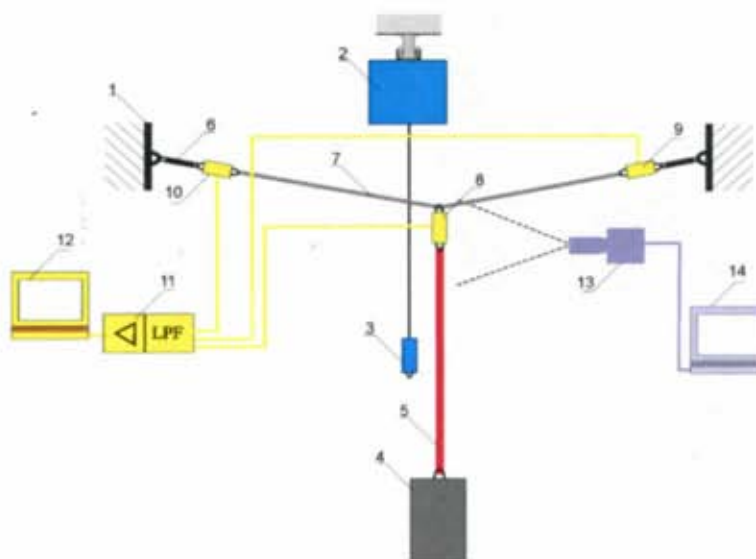
Pierwszym głównym moim osiągnięciem w prezentowanej tematyce było opracowanie nowej udoskonalonej metodyki badania zachowania poziomych lin kotwiczących podczas powstrzymywania przez nie spadania. W opracowanej metodyce, stanowiącej rozwinięcie metod zawartych w normie PN-EN 795:1999 *Ochrona przed upadkiem z wysokości - Urządzenia kotwiczące - Wymagania i badania*, przyjąłem, że wielkościami mierzonymi są przebiegi czasowe:

- sił działających w zakończeniach liny,
- siły działającej pomiędzy liną a obciążnikiem badawczym,
- ugięcia (pionowego przemieszczenia) punktu przyłożenia siły obciążającej.

Przebiegi te są mierzone podczas powstrzymywania spadania przez linę, sztywnego obciążnika o założonej masie i prędkości tak jak pokazano to na rys. 4.

W opracowanej metodzie przyjąłem, że parametrami badania są: masa i prędkość początkowa sztywnego obciążnika, długość liny, siła jej wstępnego napięcia oraz położenie punktu obciążenia na linie (w stosunku do środka przęsła).

W zbudowanym stanowisku badawczym punkty kotwiczenia liny zainstalowano na sztywnej konstrukcji, spełniającej wymagania normy PN-EN 364:1996 w zakresie ugięcia pod wpływem obciążenia statycznego oraz częstotliwości drgań własnych. Podnoszenie, opuszczanie i przemieszczanie w poziomie sztywnego obciążnika uzyskano dzięki zastosowaniu dźwigu, na którego zbloczu zainstalowano zaczep elektromagnetyczny pozwalający na zwalnianie obciążnika bez prędkości początkowej. Pomiary sił w badaniu rozwiązano stosując tensometryczne przetworniki pomiarowe siły, rozmieszczone tak jak pokazano to na rys. 4.



Rys. 4. Stanowisko do badania zachowania poziomych lin kotwicznych podczas powstrzymywania spadania. Oznaczenia: 1 - sztywna konstrukcja nośna, 2 - dźwig, 3 - zaczep elektromagnetyczny, 4 - sztywny obciążnik, 5 - linka aramidowa, 6 - napinacze, 7 - obiekt badań - pozioma linka kotwicząca, 8, 9, 10 - przetwornik pomiarowy siły (U9B-20kN Hottinger), 11 - blok wzmacniaczy i filtrów analogowych (AE-101 Hottinger i MS210R IMD), 12 - komputer z systemem akwizycji danych (KUSB 3116 Keithley), 13 - cyfrowa kamera do szybkich zdjęć (MotionBlitz EoSens Cube7 firmy Mikrotron), 14 - komputer współpracujący z kamerą.

Przetworniki pomiarowe współpracowały ze wzmacniaczami i filtrami analogowymi zapewniającymi odpowiednie wzmocnienie i filtrację mierzonych sygnałów czasowych. Rejestracja sygnałów czasowych sił odbywała się w pamięci komputera z wbudowanym systemem akwizycji danych. Ugięcie badanej linki rejestrowano za pomocą szybkiej kamery cyfrowej, z szybkością od 1000 do 2000 klatek/s. **Do przetwarzania zarejestrowanych filmów zastosowałem oprogramowania Tema Motion-Starter II, które wykorzystując technikę rozpoznawania obrazów pozwalało stworzyć czasowe przebiegi przemieszczenia punktu przyłożenia siły obciążającej na linkie kotwiczącej.**

Zbudowane pod moim kierownictwem stanowisko badawcze zostało wdrożone do krajowego systemu badań i certyfikacji i jest wykorzystywane do oceny indywidualnego sprzętu chroniącego przed upadkiem z wysokości.

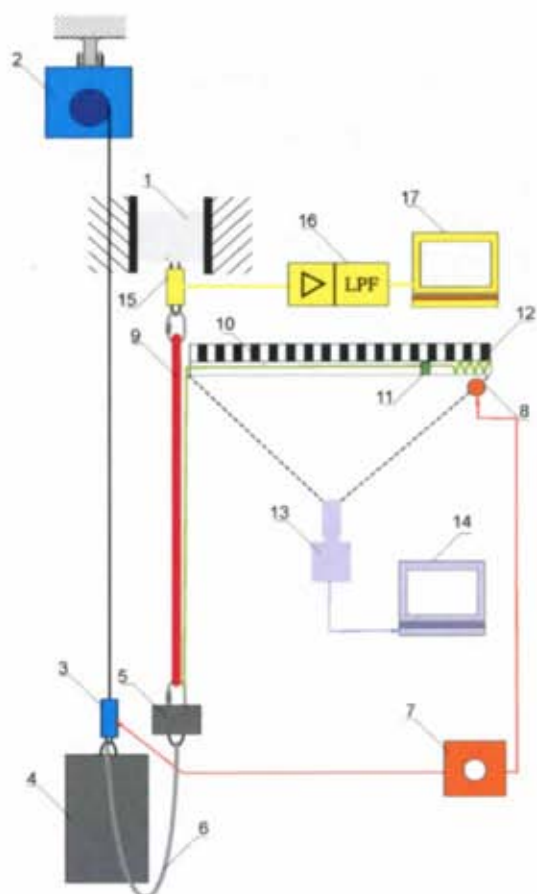
Opracowaną metodę i stanowisko badawcze zastosowano również do opracowania i weryfikacji modeli numerycznych poziomych lin kotwicznych, które pozwalają na symulację ich zachowania w różnych warunkach obciążenia.

Powyższe zagadnienia wraz z wnioskami z przeprowadzonych badań opisałem szczegółowo w publikacji H-11.

Opracowanie metod i stanowisk do badań charakterystyk siła obciążająca - wydłużenie lin i taśm włókienniczych dla potrzeb opracowania modeli numerycznych wybranych podzespołów sprzętu chroniącego przed upadkiem z wysokości.

Równocześnie z pracami nad metodami badań poziomych lin kotwiczących prowadziłem prace nad tworzeniem modeli numerycznych podzespołów kotwiczących oraz łącząco-amortyzujących. Celem opracowania modeli było umożliwienie symulacji zachowania tych podzespołów podczas powstrzymywania spadania z wysokości przy założeniu różnych warunków początkowych np. wysokości swobodnego spadania, masy spadającego obiektu, długości przęsła liny kotwiczącej itp. Dzięki symulacjom numerycznym wykorzystującym modele jest możliwe określenie najważniejszych wielkości wpływających bezpośrednio na bezpieczeństwo człowieka, to znaczy: maksymalnych wartości sił działających w zakończeniach podzespołów, siły powstrzymującej spадanie oraz wydłużenia podzespołu. Tworzenie modeli numerycznych sprzętu wymagało znajomości charakterystyk mechanicznych lin i taśm, z których jest wykonany, a szczególne charakterystyki $F(S)$, wiążącej siłę rozciągającą z wydłużeniem dla różnych prędkości obciążenia. Prowadzone przeze mnie badania charakterystyk $F(S)$, skupiły się na warunkach statycznych i dynamicznych. Badania w warunkach statycznych były prowadzone za pomocą maszyny wytrzymałościowej, typ Zwick Z100/SW5A zaprogramowanej na rozciąganie ze stałą prędkością zawierającą się w granicach od 10 do 1000 mm/min. Uzyskane wyniki wskazały na **zależność charakterystyk $F(S)$ od prędkości obciążania oraz na ich nieliniowość**. Problem nieliniowości wiązał się z koniecznością zastosowania odpowiednich funkcji aproksymujących charakterystykę $F(S)$ w tworzonych modelach numerycznych.

Dla potrzeb otrzymania charakterystyk $F(S)$ w warunkach dynamicznych, oddających powstrzymywanie spadania z wysokości, **zaprojektowałem i nadzorowałem wykonanie stanowiska przedstawionego na rys. 5 i w publikacji H7**. Metoda badawcza realizowana za pomocą tego stanowiska polegała na pomiarze siły działającej w odpowiednio zakończonym odcinku liny lub taśmy włókienniczej oraz jego wydłużenia podczas powstrzymywania spadania obciążnika badawczego o zadanej masie i prędkości początkowej. Pomiar siły był dokonywany za pomocą układu pomiarowego składającego się z przetwornika pomiarowego siły, wzmacniacza i filtra analogowego oraz systemu akwizycji danych. Sygnał czasowy siły był próbkowany z częstotliwością $f_p=1\text{kHz}$. Pomiar wydłużenia był prowadzony za pomocą **zaprojektowanego przeze mnie ekstensometru**, w którym przemieszczenie znacznika, połączonego nierozciągliwym cięgnem z obciążnikiem badawczym, było rejestrowane za pomocą szybkiej cyfrowej kamery z szybkością 1000 klatek/s.



Rys. 5. Stanowisko do badania charakterystyki siła obciążająca - wydłużenie w warunkach dynamicznych lin i taśm włókienniczych. Oznaczenia: 1 - sztywna konstrukcja nośna, 2 - dźwig, 3 - zaczep elektromagnetyczny, 4 - sztywny obciążnik, 5 - obciążnik o masie 2 kg, 6 - linka kevlarowa, 7 - urządzenie wyzwalające i synchronizujące pomiar, 8 - dioda laserowa, 9 - obiekt badań - lina/taśma włókiennicza, 10 - cięgno ekstensometru, 11 - znacznik ekstensometru, 12 - skala, 13 - cyfrowa kamera do szybkich zdjęć (MotionBlitz EoSens Cube7 firmy Mikrottron), 14 - komputer współpracujący z kamerą, 15 - przetwornik pomiarowy siły (U9B-20kN Hottinger), 16 - wzmacniacz i filtr analogowy (AE-101 Hottinger i MS210R IMD), 17 - komputer z systemem akwizycji danych (KUSB 3116 Keithley).

Za pomocą wcześniej wspomnianego oprogramowania Tema Motion-Starter II dygitalizującego położenie znacznika ekstensometru uzyskiwano przebieg czasowy przemieszczenia obciążnika odpowiadający wydłużeniu badanego obiektu. Jednym z istotniejszych zagadnień opracowanej metody badań była synchronizacja rejestracji przebiegu czasowego wydłużenia i siły działającej w badanym obiekcie, którą uzyskano umieszczając w polu widzenia kamery diodę laserową sprzężoną z układem sterującym zaczepem elektromagnetycznym zwalniającym obciążnik badawczy. Zastosowanie przedstawionego ekstensometru pozwoliło na uzyskanie błędu pomiaru wydłużenia nie przekraczającego 5 mm oraz uniezależnienie się od błędów związanych ze zniekształceniami obiektywu kamery oraz bocznymi ruchami obciążnika podczas powstrzymywania jego spadania.

Opracowana metoda i stanowisko pozwoliło na przeprowadzenie badań poliamidowych i poliestrowych lin skręcanych, rdzeniowych i plecionych, lin z oplotem aramidowym, taśm poliamidowych o różnych szerokościach oraz taśm poliamidowych z oplotem aramidowym. Najważniejszym efektem przeprowadzonych badań było uzyskanie charakterystyk $F(S)$ dla zmiennej prędkości obciążania wynikającej z przebiegu powstrzymywania spadania z wysokości. Uzyskane charakterystyki, przedstawione w postaci graficznej w artykule H-7, wykorzystałem do obliczenia współczynników funkcji aproksymujących, użytych w opisie modeli numerycznych.

Zarejestrowane w badaniach przebiegi czasowe siły i wydłużenia posłużyły również do weryfikacji symulacji numerycznych prowadzonych za pomocą opracowanych modeli podzespołów łącząco-amortyzujących. Wyniki porównania przebiegów czasowych omawianych wielkości pochodzących z symulacji numerycznych i badań laboratoryjnych przedstawiono w publikacji H8. Zbieżność wyników symulacji i eksperymentów potwierdziła poprawność stworzonych modeli numerycznych wybranych podzespołów łącząco-amortyzujących.

Powyższe zagadnienia wraz z wnioskami z przeprowadzonych badań opisałem szczegółowo w publikacjach H-7 i H-8.

Prace nad badaniami charakterystyk mechanicznych materiałów włókienniczych stosowanych w sprzęcie chroniącym przed upadkiem z wysokości prowadziłem również pod kątem praktycznym, to znaczy oceny zgodności sprzętu z wymaganiami Dyrektywy 89/686/EWG. Podjęty przeze mnie projekt nr 3.4 (2003-2004) pt. *Opracowanie i wdrożenie procedur badań linek bezpieczeństwa stosowanych w sprzęcie chroniącym przed upadkiem z wysokości, w ramach Programu Wieloletniego pn. Dostosowywanie warunków pracy w Polsce do standardów Unii Europejskiej* dotyczył szczególnie materiałów charakteryzujących się małą wydłużalnością. Przeprowadzone pod moim kierownictwem badania pokazały, że takie podzespoły sprzętu jak linki bezpieczeństwa i linki do nadawania pozycji podczas pracy na wysokości wykonane z lin z włókien aramidowych oraz lin poliamidowych z rdzeniem stalowym wymagają nowej, w stosunku do obowiązujących wówczas norm EN, metodyki badań w zakresie odporności na obciążenie dynamiczne. Potrzeba ta była podyktowana generowaniem podczas badań dynamicznych sił wielokrotnie przekraczających wartości występujące podczas rzeczywistego działania sprzętu. **Przeprowadzone prace pozwoliły na opracowanie nowej metody badania odporności na obciążenie dynamiczne** opierającej się na zastosowaniu doświadczalnie dobieranych wartości energii kinetycznej obciążnika badawczego, w celu uzyskania założonej wartości maksymalnej dynamicznej siły

obciążającej. Powyższe zagadnienia wraz z wnioskami z przeprowadzonych badań opisałem szczegółowo w publikacji H-4.

Przedstawione badania charakterystyk siła rozciągająca-wydłużenie $F(S)$ lin i taśm włókienniczych prowadziłem przy założeniu jednokrotnego obciążania próbek. Założenie to wynikało z praktycznej zasady pozwalającej na jednokrotne wykorzystanie indywidualnego sprzętu chroniącego przed upadkiem z wysokości, wykonanego z materiałów włókienniczych, do powstrzymywania spadania z wysokości. Zasada ta nie ma zastosowania w przypadku sprzętu, który jest równocześnie używany przez więcej niż jednego pracownika, np. pozioma lina kotwicząca o długości kilkunastu metrów, do której są wczepieni dwaj użytkownicy. Taki sposób wykorzystania stwarza możliwość wystąpienia w krótkim czasie po sobie kolejnych obciążeń będących efektem powstrzymywania spadania poszczególnych użytkowników. Problem ten skłonił mnie do podjęcia badań dotyczących zmiany parametrów mechanicznych materiałów włókienniczych stosowanych w sprzęcie ochronnym na skutek kolejnych obciążeń dynamicznych oraz wpływu tych zmian na warunki powstrzymywania spadania. Badania był objęte projektem, nr 3.Z.13 (2014-2016) pt. *Opracowanie wytycznych konstrukcyjnych, wymagań i metod badań systemów kotwiczących sprzętu chroniącego przed upadkiem z wysokości przeznaczonych do stosowania przez kilku użytkowników*, który był realizowany pod moim kierownictwem w ramach Programu Wieloletniego pn. *Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy*.

Dla potrzeb oceny zmian parametrów mechanicznych lin i taśm włókienniczych pod wpływem kolejnych obciążeń opracowałem oryginalne metody badań statycznych i dynamicznych. Metoda badań w warunkach statycznych polegała na cyklicznym obciążaniu próbek lin i taśm włókienniczych z prędkością nie przekraczającą 1 m/min. Pojedynczy cykl obejmował zwiększenie obciążenia próbki o $\Delta F = 6$ kN (maksymalna dopuszczalna wartość siły powstrzymującej spadanie), i następnie odciążenie o $\Delta F = 5$ kN. W efekcie każdy następny cykl rozpoczynał się od wstępnej siły większej o $F_0 = 1$ kN. Wartość ta była symulacją obciążenia zawieszonym użytkownikiem sprzętu o masie $m \approx 100$ kg. Badaniom poddałem próbki lin skręcanych, plecionych i rdzeniowych, wykonanych z włókien poliamidowych, poliestrowych i aramidowych oraz poliamidowych taśm tkanych o szerokościach od 20 do 45 mm. W celu oceny uzyskanych wyników **zdefiniowałem współczynnik charakteryzujący stromość narastania charakterystyki $F(S)$.** Analiza wyników pozwoliła mi na wykazanie, że każde kolejne obciążenie powodowało wzrost współczynnika stromości charakterystyki, co oznaczało wzrost sztywności materiału włókienniczego. Efektem tego zjawiska jest istotna zmiana - pogorszenie warunków powstrzymywania spadania kolejnego użytkownika sprzętu ochronnego.

W celu symulacji rzeczywistych warunków stosowania sprzętu chroniącego przed upadkiem **opracowałem metodę badań w warunkach dynamicznych**. Metoda badania polegała na równoczesnym pomiarze przebiegu czasowego siły działającej w odcinku liny/taśmy włókienniczej oraz jego wydłużenia podczas powstrzymywania spadania kolejnych sztywnych obciążników o masach $m = 100$ kg. W efekcie każde kolejne obciążenie dynamiczne było przeprowadzone na próbce o zmienionej charakterystyce $F(S)$ oraz z większym obciążeniem wstępnym. Badania były prowadzone na **stanowisku opracowanym według mojego projektu**. Dla potrzeb pomiaru siły i wydłużenia wykorzystano aparaturę przedstawioną na rys. 5. Schemat stanowiska badawczego przedstawiono w artykule H-9. **Przeprowadzone badania pozwoliły na określenie charakterystyk $F(S)$ taśm i lin włókienniczych, stosowanych w sprzęcie chroniącym przed upadkiem, dla warunków dynamicznych kolejnych obciążeń**. Uzyskane wyniki wykazały istotny wzrost współczynnika charakteryzującego stromość narastania charakterystyk $F(S)$ dla kolejnych obciążeń. Porównanie wartości współczynników dla obciążenia w warunkach statycznych i dynamicznych wykazały, że większe wartości przyjmował ten drugi, co potwierdziło wpływ prędkości obciążania na charakterystyki $F(S)$.

Dla potrzeb oceny wpływu zaobserwowanych zjawisk na parametry mechaniczne sprzętu chroniącego przed upadkiem z wysokości **zdefiniowałem współczynnik pochłaniania energii**. Określał on ilość energii, którą pochłonie w kolejnym rozciąganiu dynamicznym dany obiekt - odcinek liny/taśmy włókienniczej, przy założeniu wzrostu siły rozciągającej o $\Delta F = 6$ kN. Porównując wyniki badań wcześniej wymienionych lin i taśm zaobserwowano, że współczynniki pochłaniania energii w drugim obciążeniu były nawet o ponad 50% mniejsze niż w obciążeniu pierwszym.

Podsumowując wyniki badań przeprowadzonych według własnej oryginalnej metody mogłem stwierdzić, że każde kolejne obciążenie dynamiczne elementów wykonanych z materiałów włókienniczych pogarszało warunki powstrzymywania spadania człowieka z wysokości. Pogorszenie to trzeba rozpatrywać w dwóch aspektach:

- wzrostu siły działającej na człowieka poprzez szelki bezpieczeństwa,
- wzrostu siły działającej w sprzęcie ochronnym.

Dzięki temu sformułowałem wniosek, że w rozpatrywanych warunkach, każdy z użytkowników powinien być wyposażony w indywidualny element pochłaniający jego energię kinetyczną, np. amortyzator włókienniczy, co uniezależni od zmian właściwości podzespołu kotwiczącego np. poziomej liny kotwiczącej.

Powyższe zagadnienia wraz z wnioskami z przeprowadzonych badań opisałem szczegółowo w **publikacji H-9**.

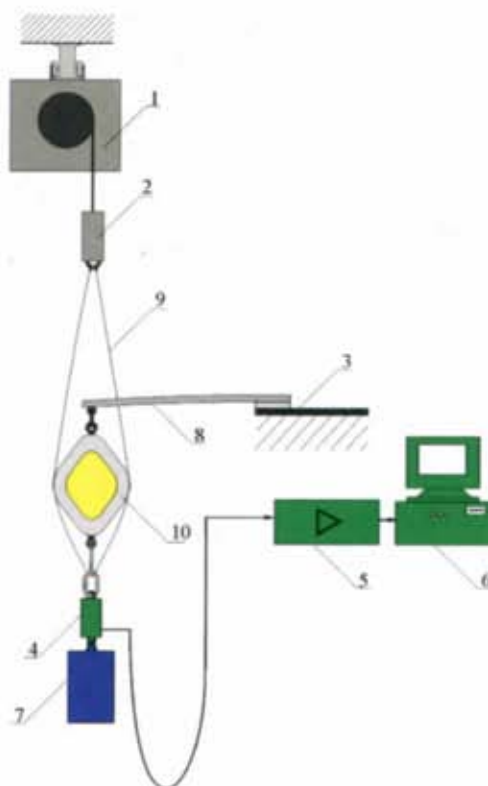
Opracowanie metody i stanowiska badań skuteczności działania urządzeń samohamownych chroniących przed upadkiem z wysokości instalowanych do pionowych i poziomych lin kotwiczących.

Urządzenia samohamowne są podzespołami łącząco-amortyzującymi przeznaczonymi do zabezpieczania ludzi, którzy podczas wykonywania swojej pracy muszą przemieszczać się w kierunku pionowym. Wolne oddalanie się użytkownika od urządzenia powoduje wysuwanie się linki/taśmy z korpusu urządzenia, a przybliżanie jej automatyczne zwijanie. W sytuacji rozpoczęcia spadania człowieka, gdy prędkość wysuwania linki/taśmy przekracza 2,5 m/s, następuje zadziałanie blokady i uruchomienie wewnętrznego hamulca ciernego lub zewnętrznego amortyzatora włókienniczego łagodzącego skutki powstrzymywania spadania.

Informacje pochodzące z European Co-ordination of Notified Bodies Vertical Group VG-11 „Protection against falls from a height” wskazywały na występowanie nieprawidłowego działania urządzeń samohamownych w sytuacji ich instalacji do elastycznych poziomych lub pionowych lin kotwiczących. Biorąc pod uwagę, że takie działanie może zagrażać bezpieczeństwu użytkowników urządzeń samohamownych, w ramach Programu Wieloletniego pn. *Dostosowywanie warunków pracy w Polsce do standardów Unii Europejskiej* podjąłem w roli kierownika projekt nr 03.7 (2005-2007) pt. *Badania skuteczności działania urządzeń samohamownych chroniących przed upadkiem z wysokości, instalowanych do elastycznych punktów kotwienia*.

Według opracowanej przeze mnie metody przeprowadzono badania układów lina kotwicząca sztywny obciążnik badawczy w zakresie częstotliwości drgań własnych i tłumienia drgań. Obiektami badań były pionowe i poziome liny kotwiczące wykonane z lin włókienniczych (poliamidowych, poliestrowych, kevlarowych, skręcanych, plecionych i rdzeniowych) oraz z lin stalowych. Badania wykazały, że w przypadku lin włókienniczych częstotliwości drgań własnych opisanego układu zawierały się w granicach od około 1 do 5 Hz, a logarytmiczny dekrement tłumienia w granicach od 0,1 do 0,9. Następnie przeprowadziłem badania działania urządzeń samohamownych instalowanych do przedstawionych lin kotwiczących. Badania były prowadzone w oparciu o **opracowaną przeze mnie oryginalną metodę i stanowisko badawcze**, które jest przedstawione na rys. 6 i w artykule H-3.

Istotą opracowanej metody był pomiar przebiegu czasowego siły działającej między obciążnikiem badawczym, a urządzeniem samohamownym zainstalowanym do elastycznego podzespołu kotwiczącego, podczas powstrzymywania spadania oraz analiza przebiegu pod kątem skokowego działania blokady.



Rys. 6. Stanowisko do badania skuteczności działania urządzeń samohamownych chroniących przed upadkiem z wysokości instalowanych do pionowych i poziomych lin kotwicznych. Oznaczenia: 1 - dźwig, 2 - zaczep elektromagnetyczny, 3 - sztywna konstrukcja mocująca, 4 - przetwornik pomiarowy siły (U9B-20kN Hottinger), 5 - wzmacniacz z filtrem analogowym (AE-101 Hottinger), 6 - komputer z systemem akwizycji danych (DAP-1200e - Datalog), 7 - sztywny obciążnik, 8 - płaska stalowa sprężyna symulująca linę kotwiczną, 9 - cięgno, 10 - badane urządzenie samohamowne.

Prowadzone przeze mnie badania objęły podstawowe rodzaje urządzeń samohamownych, elastyczne podzespoły kotwiczące w postaci wcześniej opisanych poziomych i pionowych lin kotwicznych oraz płaskiej stalowej sprężyny o regulowanej częstotliwości rezonansowej. **Uzyskane wyniki pozwoliły na opisanie przyczyny nieprawidłowego działania urządzeń samohamownych w takich warunkach i powiązanie tego zjawiska z częstotliwościami drgań własnych i tłumieniem lin kotwicznych. Przyczyną tą było skokowe działanie blokad urządzeń wywołane sprężystością i tłumieniem układu linka/taśma urządzenia samohamownego - lina kotwicząca.** W efekcie przeprowadzonych eksperymentów pod moim kierownictwem opracowano docelową wersję stanowiska badawczego przeznaczonego do badań urządzeń samohamownych w ramach oceny ich zgodności z Dyrektywą 89/686/EWG. Bazując na przeprowadzonych badaniach opracowałem wymagania dla urządzeń samohamownych, które według deklaracji producenta mogą być instalowane do elastycznych podzespołów kotwicznych.

Powyższe zagadnienia wraz z wnioskami z przeprowadzonych badań opisałem szczegółowo w **publikacji H-3**. Opracowanej **pod moim kierownictwem** metodzie

badan w 2008 r. przyznano nagrodę III stopnia w kategorii *Prace naukowo-badawcze z dziedziny bezpieczeństwa i higieny pracy oraz ergonomii, służące poprawie warunków pracy, mające zastosowanie w praktyce* w Ogólnopolskim Konkursie Poprawy Warunków Pracy organizowanym przez Ministerstwo Pracy i Polityki Społecznej.

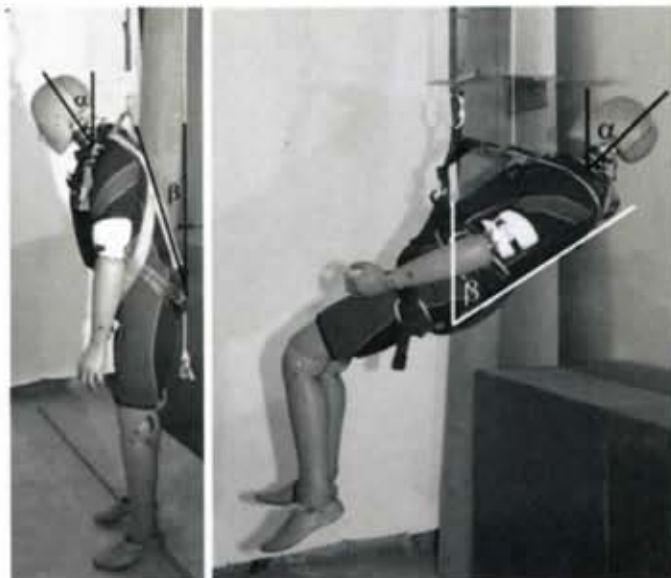
Analiza zjawisk towarzyszących powstrzymywaniu spadania człowieka przez uprząż ochronne o różnej konstrukcji na podstawie badań według autorskiej metody i stanowiska, wykorzystujących manekin antropomorficzny Hybrid III 50th Pedestrian ATD.

Manekiny antropomorficzne jak do tej pory są najdoskonalszym narzędziem pozwalającym na analizę zachowania człowieka podczas wypadków w takich dziedzinach jak motoryzacja, lotnictwo, sport itp. W związku z tym **podjąłem nowatorskie badania z użyciem manekina antropomorficznego typ Hybrid III 50th Pedestrian ATD, których głównym celem było określenie zjawisk towarzyszących powstrzymywaniu spadania człowieka przez indywidualny sprzęt ochronny.** Szczególną uwagę skupiłem na badaniach wpływu konstrukcji szelek bezpieczeństwa na niebezpieczne czynniki mechaniczne działające na człowieka podczas powstrzymywania spadania z wysokości. W tym celu w charakterze kierownika podjąłem wraz z zespołem wykonawców realizację dwóch następujących projektów badawczych:

- nr III-50, (2016-2017) pt. *Określenie czynników mechanicznych działających na człowieka podczas powstrzymywania spadania z wysokości przez indywidualny sprzęt ochronny na podstawie badań z użyciem manekina antropomorficznego typ Hybrid III, realizowanego w ramach działalności statutowej CIOP-PIB;*
- nr 3.G.08 (2017 - do dnia dzisiejszego) pt. *Opracowanie kryteriów oceny oraz wytycznych do konstruowania i użytkowania indywidualnego sprzętu chroniącego przed upadkiem z wysokości w oparciu o badania z użyciem manekina antropomorficznego, realizowanego w ramach Programu Wieloletniego pn. Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy.*

W badaniach określiłem wpływ konstrukcji szelek bezpieczeństwa, stanowiących układ taśm włókienniczych podtrzymujących ciało człowieka, na jego pozycję przestrzenną podczas powstrzymywania spadania. Badania były prowadzone za pomocą manekina antropomorficznego typ Hybrid III 50th Pedestrian ATD wyposażanego w szelki bezpieczeństwa o różnej konstrukcji i wykonanych z różnych taśm włókienniczych oraz w podzespół łącząco-amortyzujący wykonany z dynamicznej liny wspinaczkowej. Badania polegały na dokonywaniu zrzutu manekina z zadanej wysokości, powstrzymaniu jego spadania przez sprzęt ochronny i ocenie pozycji po zawiśnięciu. Pozycja manekina, zgodnie z rys. 7, była charakteryzowana przez kąty,

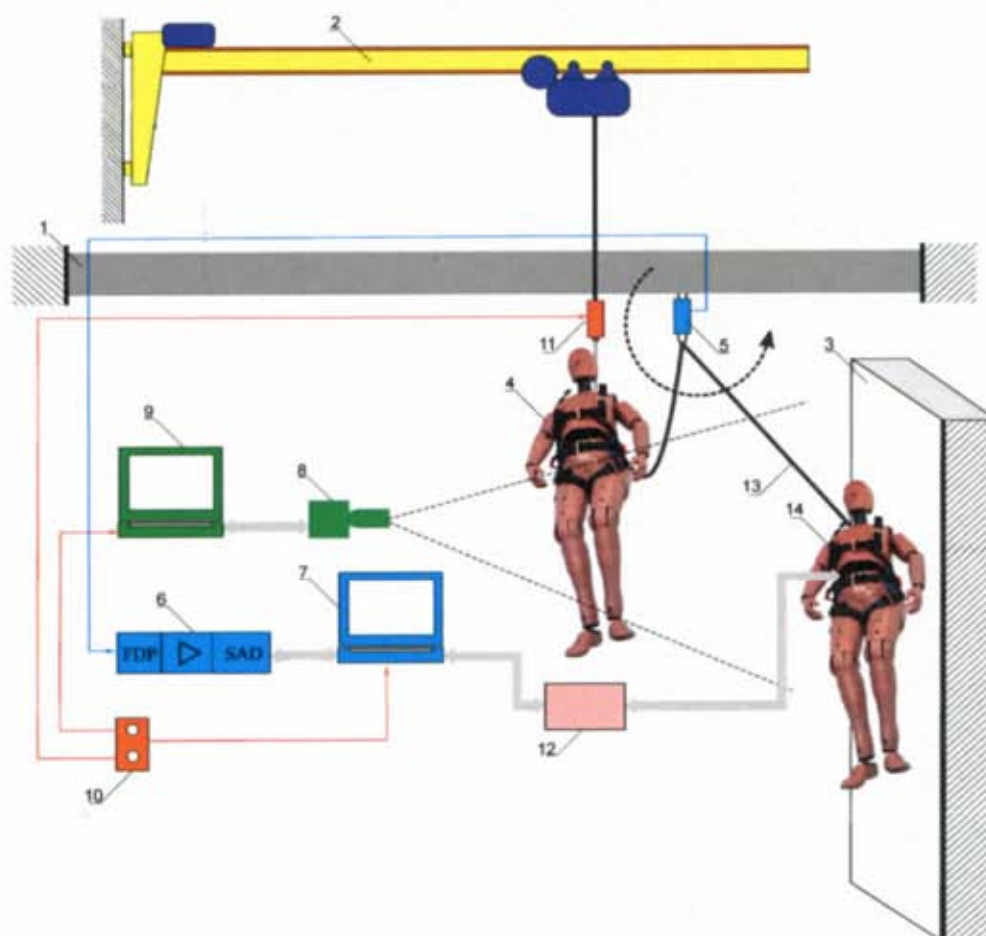
jakie tworzyły płaszczyzna jego pleców oraz oś przechodząca przez wierzchołek głowy i podstawę szyi z pionem.



Rys. 7. Kąty α i β wyznaczone dla szelek bezpieczeństwa z zaczepem grzbietowym i piersiowym.

Uzyskane wyniki pozwoliły na wskazanie zależności między konstrukcją szelek bezpieczeństwa, szczególnie umiejscowieniem klamer zaczepowych dla podzespołu łącząco-amortyzującego oraz ich przesuwania się po taśmach włókienniczych, a przestrzennym ustawieniem manekina po powstrzymaniu jego spadania.

Dla określenia wpływu pozycji przestrzennej człowieka na zagrożenia związane z powstrzymywaniem jego spadania opracowałem oryginalną metodę badań bazującą również na wykorzystaniu manekina antropomorficznego. Głównym założeniem metody było uzyskanie powstrzymywania spadania, połączonego z ruchem wahadłowym i w jego wyniku zderzeniem manekina z płaską, pionową, sztywną przeszkodą. Dla tak sformułowanej metody badań zaprojektowałem stanowisko badawcze przedstawione schematycznie na rys. 8. Manekin antropomorficzny dla potrzeb badań był wyposażony w wewnętrzny system pomiarowy umożliwiający pomiar przebiegów czasowych: przyspieszeń głowy, klatki piersiowej i miednicy; sił i momentów sił działających w odcinku szyjnym i lędźwiowym kręgosłupa; ugięcia klatki piersiowej; sił działających w ramionach i udach. Pomiar przyspieszeń i sił w odcinkach kręgosłupa były dokonywane w trzech ortogonalnych osiach. Szczegółowy opis stanowiska oraz manekina przedstawiono w artykule H-10.



Rys. 8. Stanowisko do badań zjawisk towarzyszących powstrzymywaniu spadania z wysokości. Oznaczenia: 1 – sztywna belka z przesuwym punktem kotwiczenia, 2 – dźwig do ustawiania wstępnej pozycji manekina przed zrzutem, 3 – ściana nośna z płytą aluminiową o grubości 5mm, 4 – manekin antropomorficzny Hybrid III 50th Pedestrian ATD, 5 – przetwornik pomiarowy siły (U9B-20kN Hottinger), 6 – system akwizycji danych (KUSB3116 - Keithley Metrabyte) z filtrem analogowym (MS210R/ET6 - IMD) i wzmacniaczem (MGA II - Hottinger), 7 – komputer, 8 – szybka kamera cyfrowa (Cube 7 MotionBLITZ@EoSens - Mikrotron), 9 – komputer współpracujący z kamerą, 10 – urządzenie sterujące zaczepem, 11 – zaczep elektromagnetyczny do inicjowania spadania manekina, 12 – interfejs, 13 – podzespół łącząco – amortyzujący, 14 - szelki bezpieczeństwa.

W przeprowadzonych pod moim kierownictwem badaniach uzyskano unikatowe wyniki wskazujące na największe zagrożenia dla człowieka podczas powstrzymywania jego spadania przez indywidualny sprzęt ochronny. Dzięki nim ustalono, że największe zagrożenia wynikają z ruchu wahadłowego człowieka, w którego końcowej fazie następuje uderzenie głową w sztywną przeszkodę. Zarejestrowane przez wewnętrzny system pomiarowy manekina takie wielkości mechaniczne jak: przyspieszenia głowy oraz siły i momenty sił w odcinku szyjnym kręgosłupa wskazały na przekroczenia wartości granicznych uznawanych, w badaniach motoryzacyjnych, jako bezpieczne dla człowieka.

Przeprowadzone badania pozwoliły na ocenę wpływu konstrukcji szelek bezpieczeństwa na potencjalne zagrożenia dla człowieka związane z jego ruchem wahadłowym i zderzeniem z elementami stanowiska pracy. Najniebezpieczniejszymi wariantami był ruch przodem do przeszkody w szelkach bezpieczeństwa z klamrą zaczepową usytuowaną między łopatkami oraz ruch tyłem do przeszkody w szelkach bezpieczeństwa z klamrą zaczepową usytuowaną z przodu na wysokości mostka. O skali zagrożenia najlepiej świadczą zarejestrowane wartości przyspieszeń głowy, które przekraczały 400 g, oraz sił działających na szyjny odcinek kręgosłupa o wartości większej od 9 kN. Wartości te występowały w warunkach, gdy siła działająca na klamrę zaczepową szelek nie przekraczała 3 kN, czyli 50% wartości dopuszczalnej, określonej w normach EN dotyczących sprzętu chroniącego przed upadkiem z wysokości. Obserwacja ta pozwoliła na sformułowanie wniosku, że spełnienie kryterium siły powstrzymującej spadanie, działającej na szelki bezpieczeństwa, nie większej od 6 kN nie jest wystarczające z punktu widzenia bezpieczeństwa użytkownika sprzętu.

Uzyskane wyniki wykorzystałem również do opracowania wytycznych konstrukcyjnych dla hełmów ochronnych przeznaczonych do równoczesnego użytkowania z indywidualnym sprzętem chroniącym przed upadkiem z wysokości, co zostało przedstawione w publikacji **Baszczyński K.** 2018. *Analiza zagrożeń uszkodzeń głowy pracownika podczas powstrzymywania spadania z wysokości*. Bezpieczeństwo Pracy. Nauka i Praktyka, nr 2, 20-23.

Powyższe zagadnienia wraz z wnioskami z przeprowadzonych badań opisałem szczegółowo w publikacji H-10.

Podsumowanie osiągnięcia naukowego stanowiącego podstawę wniosku habilitacyjnego

Do najważniejszych moich osiągnięć naukowych związanych z rozwojem metod badań i analizą zjawisk towarzyszących działaniu elementów włókienniczych sprzętu chroniącego przed upadkiem z wysokości należą:

- **Opracowanie metod badań i określenie wpływu warunków atmosferycznych na parametry ochronne amortyzatorów włókienniczych i urządzeń samozaciskowych z giętkimi przewodnikami w postaci lin włókienniczych.**

Opracowana metoda badania pozwoliła na określenie wpływu warunków atmosferycznych na działanie włókienniczych podzespołów łącząco-amortyzujących podczas powstrzymywania przez nie spadania. Metoda opiera się na pomiarze przebiegów czasowych siły powstrzymującej spadanie obciążnika badawczego oraz towarzyszącego mu wydłużenia dynamicznego podzespołu. Siła powstrzymywania

spadania jest określana za pomocą pomiaru bezpośredniego, a wydłużenie na podstawie przebiegu przyspieszenia obciążnika, którego spadanie jest powstrzymywane przez badany sprzęt. Metoda badania obejmuje wstępne kondycjonowanie sprzętu ochronnego, symulujące warunki atmosferyczne takie jak: temperatura, wilgotność, zanurzenie w wodzie i zamarzanie mokrego sprzętu. Badania przeprowadzone według opracowanej metody dostarczyły danych, które są bardzo cenne z punktu widzenia bezpieczeństwa użytkowników sprzętu chroniącego przed upadkiem z wysokości. Na szczególną uwagę zasługują wyniki wskazujące na znaczny wzrost wydłużeń dynamicznych podzespołów wraz ze wzrostem temperatury i wilgotności oraz wzrost wartości siły powstrzymującej spadanie po kondycjonowaniu w warunkach zamarzania mokrego sprzętu.

- **Analiza czynników wpływających na obniżanie parametrów wytrzymałościowych elementów włókienniczych sprzętu chroniącego przed upadkiem z wysokości podczas jego użytkowania, na podstawie badań według autorskich metod.**

Na podstawie wyników badań według opracowanej metodyki przeprowadziłem analizę utraty wytrzymałości sprzętu chroniącego przed upadkiem z wysokości zawierającego taśmy i liny włókiennicze. Wykazałem, że użytkowanie sprzętu wpływało na obniżenie jego parametrów wytrzymałościowych, a najczęstszą przyczyną negatywnych wyników badań były uszkodzenia szwów łączących taśmy włókiennicze w upręgach oraz uszkodzenia taśm w miejscach ich współpracy z metalowymi klamrami. Dzięki analizie poszczególnych czynników działających na materiały włókiennicze w sprzęcie chroniącym przed upadkiem z wysokości podczas jego użytkowania wykazałem, że najważniejszymi z punktu widzenia utraty wytrzymałości są: promieniowanie o widmie odpowiadającym światłu słonecznemu oraz widmie rozszerzonym o promieniowanie UV z zakresu długości fali $\lambda < 290$ nm, wnikanie pyłu i uszkodzenia mechaniczne powierzchni i brzegów taśm. Przeprowadzone badania i analiza wyników pozwoliła mi na opracowanie poradnika wspomagającego użytkowników sprzętu chroniącego przed upadkiem z wysokości w samodzielnej ocenie jego stanu technicznego.

- **Analiza zjawisk związanych z działaniem włókienniczych podzespołów łącząco-amortyzujących podczas powstrzymywania spadania z wysokości, które ze względu na poziomą instalację są poddawane tarciu o elementy konstrukcyjne stanowiska pracy.**

Tarcie pomiędzy elementem włókienniczym podzespołu łącząco-amortyzującego, a opasaną przez niego krawędzią stanowiska pracy wskazałem jako najistotniejsze

zjawisko wpływające na wytrzymałość i zachowanie sprzętu podczas powstrzymywania spadania. Dla oceny zjawiska opracowałem metodę badania wytrzymałości w warunkach statycznych taśm i lin włókienniczych opasanych wokół krawędzi, o zadanym promieniu zaokrąglenia, stalowego profilu. Badania wykazały, w przypadku ostrych profili, kilkudziesięcioprocentowy spadek siły zrywającej lin i taśm włókienniczych stosowanych w podzespołach łącząco-amortyzujących. Rozwinąłem dotychczasową metodę badań w warunkach dynamicznych i opracowałem stanowisko do badania podzespołów łącząco-amortyzujących. Mój istotny wkład w tym zakresie dotyczył metody pomiaru dynamicznego wydłużenia badanego podzespołu łącząco-amortyzującego. Analiza wyników wykazała, że: tarcie podzespołu o krawędź belki może prowadzić do całkowitego jego przecięcia już pod działaniem siły o wartości około 3 kN; tarcie podzespołu o krawędź stanowiska może generować siłę powstrzymującą spадanie o wartości większej od 6 kN uznawanej za bezpieczną dla człowieka; najgorszymi warunkami dla podzespołów łącząco-amortyzujących instalowanych w poziomie są przypadki, w których podczas powstrzymywania spadania podzespół równocześnie przemieszcza się prostopadle i wzdłuż krawędzi. Zbudowane stanowisko badawcze oraz przygotowane wymagania wdrożono w CIOP-PIB od systemu badań i certyfikacji środków ochrony indywidualnej.

- **Opracowanie metody oraz stanowiska do badania działania w warunkach dynamicznych poziomych lin kotwiczących dla indywidualnych systemów chroniących przed upadkiem z wysokości.**

Najważniejszymi wielkościami charakteryzującymi zachowanie poziomych lin podczas powstrzymywania spadania są: ugięcie liny w miejscu przyłożenia siły obciążającej; siły działające w skrajnych i pośrednich punktach mocowania liny do konstrukcji nośnej; siła działająca w dołączonym podzespole łącząco-amortyzującym. Dla potrzeb pomiaru tych wielkości udoskonaliłem metodykę badania, której parametrami są: masa i prędkość początkowa sztywnego obciążnika, długość i siła wstępnego napięcia liny oraz położenie punktu obciążenia na linie (w stosunku do środka przęsła). W ślad za metodyką zbudowano stanowisko badawcze pozwalające na prowadzenie badań poziomych lin kotwiczących wykonanych z lin i taśm włókienniczych oraz lin stalowych. Pomiary przebiegów czasowych sił w badaniach rozwiązano stosując przetworniki tensometryczne umieszczone w krańcowych punktach mocowania liny oraz w punkcie obciążenia przez spadający obciążnik. Ugięcie badanej liny jest rejestrowane za pomocą szybkiej kamery cyfrowej, z szybkością od 1000 do 2000 klatek/s, a przebieg czasowy ugięcia był otrzymywany

za pomocą oprogramowania wykorzystującego technikę rozpoznawania obrazów i digitalizacji położenia obiektów.

Stanowisko badawcze zostało wdrożone do krajowego systemu badań i certyfikacji i jest wykorzystywane do oceny indywidualnego sprzętu chroniącego przed upadkiem z wysokości. Opracowaną metodę i stanowisko badawcze zastosowano również do opracowania i weryfikacji modeli numerycznych poziomych lin kotwiczących, które pozwalają na symulację ich zachowania w różnych warunkach obciążenia.

- **Opracowanie metod i stanowisk do badań charakterystyk siła obciążająca - wydłużenie lin i taśm włókienniczych dla potrzeb opracowania modeli numerycznych wybranych podzespołów sprzętu chroniącego przed upadkiem z wysokości.**

Modelowanie numeryczne działania podzespołów kotwiczących oraz łącząco-amortyzujących wymaga znajomości charakterystyki $F(S)$ lin i taśm włókienniczych, wiążącej siłę rozciągającą z wydłużeniem dla różnych prędkości obciążenia. Opracowana metoda badania w warunkach statycznych wykorzystywała obciążanie próbek ze stałą prędkością i równoczesny pomiar siły rozciągającej i wydłużenia. Uzyskane wyniki pokazały zależność charakterystyk $F(S)$ od prędkości obciążania oraz ich silne nieliniowości. Metoda badania w warunkach dynamicznych polegała na równoczesnym pomiarze siły działającej w zakończeniu odcinka liny/ taśmy oraz jego wydłużenia podczas powstrzymywania spadania obciążnika badawczego o zadanej masie i prędkości początkowej. W zbudowanym stanowisku badawczym zastosowano własnej konstrukcji ekstensometr wykorzystujący szybką kamerę cyfrową. W przeprowadzonych badaniach uzyskano charakterystyki $F(S)$ różnych typów lin i taśm włókienniczych dla zmieniającej się prędkości obciążania. Przebiegi czasowe siły obciążającej i wydłużenia posłużyły do weryfikacji symulacji numerycznych prowadzonych za pomocą opracowanych modeli podzespołów łącząco-amortyzujących.

Opracowano nową metodę badania odporności na obciążenie dynamiczne linek bezpieczeństwa i linek opasujących, wykonanych z lin i taśm o małej wydłużalności, opierającą się na zastosowaniu doświadczalnie dobieranych wartości energii kinetycznej wymuszenia, w celu uzyskania założonej wartości maksymalnej dynamicznej siły obciążającej.

Dla potrzeb oceny zmian parametrów mechanicznych lin i taśm włókienniczych pod wpływem kolejnych obciążeń opracowałem oryginalne metody badań statycznych i dynamicznych. Metoda badania w warunkach statycznych polegała na cyklicznym zwiększaniu obciążania próbek lin i taśm o $\Delta F = 6$ kN przy narastającym obciążeniu wstępnym. Metoda badania w warunkach dynamicznych polegała na równoczesnym

miarze przebiegu czasowego siły działającej w odcinku liny/taśmy oraz jego wydłużenia podczas obciążeń wymuszanych przez spadanie kolejnych sztywnych obciążników. W efekcie każde kolejne obciążenie dynamiczne było przeprowadzone na próbce o zmienionej charakterystyce $F(S)$ oraz z większym obciążeniem wstępnym.

Analiza uzyskanych wyników wykazała, że kolejne obciążenia powodowały wzrost zdefiniowanego współczynnika stromości charakterystyki $F(S)$ oraz obniżenie współczynnika pochłaniania energii, czego efektem było pogorszenie warunków powstrzymywania spadania. Pozwoliło mi to na sformułowanie wniosku o konieczności stosowania indywidualnych elementów pochłaniający energię kinetyczną spadania.

- **Opracowanie metody i stanowiska badań skuteczności działania urządzeń samohamownych chroniących przed upadkiem z wysokości instalowanych do pionowych i poziomych lin kotwiczących.**

Przeprowadzono badania, które wyjaśniły przyczynę nieprawidłowego - skokowego działania urządzeń samohamownych instalowanych do elastycznych poziomych lub pionowych lin kotwiczących. Opracowano metodę i zbudowano stanowisko za pomocą, którego przeprowadzono badania obciążanych dynamicznie lin kotwiczących w zakresie częstotliwości drgań własnych i ich tłumienia. Następnie opracowano metodę, której istotą był pomiar przebiegu czasowego siły działającej między obciążnikiem badawczym, a urządzeniem samohamownym zainstalowanym do elastycznego podzespołu kotwiczącego, podczas powstrzymywania spadania oraz analiza przebiegu pod kątem skokowego działania blokady. Metoda wraz ze zbudowanym stanowiskiem pozwoliła na powiązanie skokowego działania urządzeń z częstotliwościami drgań własnych i tłumieniem lin kotwiczących. Ostateczna wersja stanowiska badawczego pozwala na weryfikację możliwości stosowania urządzeń samohamownych z elastycznymi podzespołami kotwiczącymi, a szczególnie wykonanymi z lin i taśm włókienniczych.

- **Analiza zjawisk towarzyszących powstrzymywaniu spadania człowieka przez uprząże ochronne o różnej konstrukcji na podstawie badań według autorskiej metody i stanowiska, wykorzystujących manekin antropomorficzny Hybrid III 50th Pedestrian ATD.**

Analiza wyników badań przeprowadzonych według opracowanej metodyki pozwoliła określić najbardziej niebezpieczne dla człowieka warunki powstrzymywania spadania. Warunki te dotyczyły ruchu wahadłowego i uderzenia głową o elementy konstrukcyjne stanowiska pracy. Wynikały one ze wstępnej pozycji przestrzennej manekina oraz konstrukcji stosowanych szelek bezpieczeństwa, a szczególnie

usytuowania klamer zaczepowych i ich przemieszczania po pasach piersiowych i grzbietowych szelek. Uzyskane wyniki pokazały, że ograniczenie, np. za pomocą amortyzatorów włókienniczych, siły działającej na szelki bezpieczeństwa do wartości 6 kN nie jest wystarczającym warunkiem zapewnienia bezpieczeństwa człowiekowi podczas powstrzymywania spadania. Dzięki uzyskanym wynikom sformułowano wytyczne do konstrukcji hełmów ochronnych przeznaczonych do równoczesnego stosowania z indywidualnym sprzętem chroniącym przed upadkiem z wysokości.

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo-badawczych

Moja działalność naukowo-badawcza po uzyskaniu stopnia doktora nauk technicznych koncentrowała się wokół problematyki związanej z indywidualnym sprzętem chroniącym przed upadkiem z wysokości oraz środkami ochrony głowy stosowanymi w środowisku pracy oraz podczas uprawiania sportu i rekreacji.

Jednym z ważniejszych podjętych przeze mnie zagadnień był wpływ korozji na poprawność działania składników sprzętu chroniącego zawierających elementy metalowe. Prace w tej dziedzinie prowadziłem, w charakterze kierownika, w ramach projektu nr 03.6 (2005-2007) pt. *Opracowanie metod badań i kryteriów oceny własności antykorozyjnych składników sprzętu chroniącego przed upadkiem z wysokości przeznaczonego do stosowania w środowisku szczególnie agresywnym chemicznie*, realizowanego w Programie Wieloletnim pn. *Dostosowywanie warunków pracy w Polsce do standardów Unii Europejskiej* oraz w charakterze wykonawcy w dwóch projektach statutowych CIOP: nr III-17 (2004-2005) pt. *Analiza wpływu korozji na parametry ochronne sprzętu chroniącego przed upadkiem z wysokości* oraz nr III-26 (2007-2008) pt. *Opracowanie metody badań odporności na korozję elementów sprzętu chroniącego przed upadkiem z wysokości wykonanych ze stali nierdzewnych i kwasoodpornych*. Przeprowadzone badania polegały na poddaniu elementów metalowych działaniu rozpylonych substancji chemicznych wywołujących korozję według takich metod jak: NSS (metoda neutralnego roztworu chlorku sodu), ASS (metoda kwaśnej mgły solnej), metoda mgły sztucznej wody morskiej i innych, z zastosowaniem różnych czasów kondycjonowania. Po wykonaniu kondycjonowania w warunkach środowiska korozyjnego sprzęt ochronny poddawano badaniom według opracowanej metodyki, koncentrującej się na poprawności działania w warunkach dynamicznych. Analiza uzyskanych wyników pokazała, że najgroźniejszymi konsekwencjami działania agresywnych czynników chemicznych jest powstawanie produktów procesu korozyjnego w postaci nalotów, nacieków itp. utrudniających lub całkowicie blokujących działanie ruchomych części np. zatrzaśników z mechanizmami samozamykającymi, urządzeń samohamownych i samozaciskowych. Przykładami następstw takich zjawisk jest brak blokowania urządzeń samohamownych pomimo

przekroczenia granicznej prędkości wysuwania ich liny/taśmy podczas powstrzymywania spadania oraz brak samoczynnego zamykania się zatrzaśników. Szczegółowe dane na temat zastosowanych metod badań i uzyskanych wyników przedstawiono w publikacjach wymienionych w załączniku nr 5 poz. II.A.1 oraz poz. II.E.13.

Jak już wspomniano wcześniej moja działalność naukowa dotyczyła również problematyki środków ochrony głowy ze szczególnym uwzględnieniem zabezpieczenia przed czynnikami mechanicznymi. Moje zainteresowania były związane głównie z analizą zjawisk towarzyszących uderzeniu poruszającego się obiektu w głowę człowieka zabezpieczoną hełmem ochronnym oraz uderzeniu głową o nieruchomy przedmioty. W konsekwencji brałem udział w opracowaniu nowych metod badań i stanowisk badawczych dla środków ochrony głowy przeznaczonych do stosowania w warunkach przemysłowych jak i podczas uprawiania sportu i rekreacji.

W 1998 r. w charakterze współwykonawcy podjąłem projekt nr 03.9.20 pt. *Opracowanie modelu konstrukcji przemysłowego hełmu o podniesionym stopniu ochrony przed uderzeniem bocznym* realizowany w ramach Programu Wieloletniego pn. *Bezpieczeństwo i ochrona zdrowia człowieka w środowisku pracy*. W projekcie tym byłem współautorem nowatorskiej metody badania odporności na przebicie oraz amortyzacji uderzeń w boczne części skorupy hełmu przemysłowego. W ślad za opracowaną metodą zbudowano stanowisko do badania zdolności amortyzacji oraz odporności na uderzenie i przebicie przemysłowych hełmów ochronnych w sytuacji niecentralnego uderzenia poruszającego się obiektu. Analiza zachodzących zjawisk wykazała, że powszechnie stosowane przemysłowe hełmy ochronne nie zapewniają skutecznej ochrony w przypadku uderzeń bocznych. Z tego względu zaprojektowano oraz opracowano model nowej konstrukcji przemysłowego hełmu ochronnego o podwyższonym stopniu ochrony przed uderzeniami bocznymi. Opracowana konstrukcja została objęta prawami ochronnymi na wzór użytkowy (Zgłoszenie: 02.06.2000; Nr prawa wyłącznego: 061417 - załącznik nr 5 poz. II.D.1).

Prowadzone przeze mnie prace badawcze dotyczyły również kasków przeznaczonych do ochrony głowy przed uderzeniami o niebezpieczne obiekty podczas uprawiania sportu i rekreacji. Byłem współwykonawcą projektu nr 3.S.14 (2008-2010) pt. *Opracowanie procedur i stanowisk do badań parametrów ochronnych hełmów przemysłowych oraz kasków sportowo-rekreacyjnych chroniących głowę przed uderzeniami o nieruchome obiekty*, realizowanego w ramach Programu Wieloletniego pn. *Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy*. W efekcie przygotowano procedury badawcze oraz stanowiska do badania amortyzacji kasków oraz skuteczności i efektywności ich układów utrzymujących. Metoda badania amortyzacji kasków w zbudowanym stanowisku wykorzystuje spadającą makietę głowy, z założonym kaskiem,

uderzającą w odpowiednie kowadło, a za pomocą trójosiowego akcelometru jest mierzone jej wypadkowe przyspieszenie. Metoda i stanowisko badawcze zostały wdrożone do krajowego systemu badań i certyfikacji.

Szczególne moje zainteresowanie wzbudziła problematyka deformacji hełmów ochronnych podczas uderzenia poruszającego się obiektu i jej wpływ na bezpieczeństwo użytkownika. Dotyczyło to związku pomiędzy odkształceniem skorupy i więźby stanowiącej układ taśm włókienniczych, a pochłanianiem energii uderzenia w różnych warunkach termicznych. W związku z tym, w charakterze kierownika, podjąłem projekt nr 03.A.09 (2012-2013) pt. *Opracowanie metody badania hełmów ochronnych w zakresie skuteczności ochrony przed uderzeniami poruszających się obiektów*, zrealizowany w ramach Programu Wieloletniego pn. *Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy*. Do najważniejszych uzyskanych efektów można zaliczyć nowatorską metodę badania deformacji hełmu oraz siły przekazywanej przez niego na makietę głowy podczas uderzenia poruszającego się obiektu, opisaną w artykule przedstawionym w załączniku nr 5 - poz II.E.20. Zbudowane stanowisko badawcze wykorzystujące szybką kamerę cyfrową pozwala na rozdzielenie efektu deformacji skorupy i więźby hełmu. Analiza uzyskanych wyników umożliwiła ocenę wpływu warunków termicznych na zdolność pochłaniania energii uderzenia przez hełmy ochronne o różnej konstrukcji. Wyniki badań przedstawiłem w publikacji: Baszczyński K., 2014, *The effect of temperature on the capability of industrial safety helmets to absorb impact energy*. Engineering Failure Analysis, Vol. 46, 1-8 (załącznik nr 5 - poz. II.A.2).

Na wielu stanowiskach pracy hełmy ochronne są stosowane równocześnie z innymi środkami ochrony indywidualnej, np. osłonami oczu i twarzy, ochronnikami słuchu, częściami twarzowymi sprzętu ochrony układu oddechowego itp. Istotnym problemem jest wówczas kompatybilność między różnymi rodzajami sprzętu. Problem ten dotyczy szczególnie sytuacji uderzenia spadającego obiektu w hełm, który deformując się przenosi uderzenie np. na okulary ochronne. Skłoniło mnie do podjęcia badań i analizy występujących wówczas zjawisk w ramach, kierowanego przeze mnie, projektu nr 3.Z.12 (2014-2015) pt. *Opracowanie wytycznych dla użytkowników oraz wymagań i metod badań hełmów ochronnych przeznaczonych do równoczesnego stosowania z innymi rodzajami środków ochrony indywidualnej* realizowanego w Programie Wieloletnim pn. *Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy*. Do najważniejszych moich osiągnięć w tym zakresie należy opracowanie metody badań zachowania przemysłowych hełmów ochronnych stosowanych równocześnie z ochronami oczu i twarzy podczas uderzenia poruszającego się obiektu. Metoda ta wykorzystuje pomiar deformacji skorupy i więźby hełmu prowadzony za pomocą szybkiej kamery cyfrowej i oprogramowania Tema Motion-Starter II, siły przekazywanej przez hełm na makietę głowy oraz przyspieszeń okularów/gogli

ochronnych. Analiza wyników pokazała, że brak kompatybilności sprzętu ochronnego może prowadzić do poważnych zranień twarzy użytkownika podczas uderzenia w hełm. W badaniach dla potrzeb pomiaru sił działających na makietę głowy ze strony sprzętu ochronnego np. więźby hełmu, czy nagłowia maski zastosowano folie firmy FUJIFILM zmieniające intensywność zabarwienia pod wpływem nacisku. Analiza wyników pozwoliła na opracowanie wytycznych dotyczących doboru środków ochrony indywidualnej do łącznego stosowania z przemysłowymi hełmami ochronnymi. Szczegółowy opis badań oraz uzyskane wyniki przedstawiłem w publikacjach wymienionych w załączniku 5 - poz. II.A.3 oraz poz. II.E.19.

Właściwości mechaniczne hełmów takie jak np. zdolność amortyzacji, odporność na uderzenie, odporność na działanie poprzecznych sił ściskających itp. zależą głównie od konstrukcji hełmów oraz użytych materiałów. Wśród parametrów konstrukcyjnych bardzo ważną wielkością jest przestrzeń pomiędzy wewnętrzną powierzchnią skorupy hełmu a głową użytkownika. Przestrzeń ta jest wykorzystywana na deformację skorupy i pochłanianie energii uderzenia poruszającego się obiektu. Biorąc pod uwagę skomplikowany kształt skorupy hełmu istotnym problemem technicznym jest pomiar odległości pomiędzy skorupą hełmu a głową użytkownika. Dla rozwiązania tego problemu pomiarowego w charakterze współwykonawcy podjąłem projekt nr. 3.Z.14 (2015-2016) pt. *Opracowanie stanowisk i metod badań przestrzennych parametrów konstrukcyjnych hełmów ochronnych dla potrzeb oceny ich właściwości ochronnych oraz projektowania z uwzględnieniem indywidualnych cech użytkowników*, realizowany w ramach Programu Wieloletniego pn. *Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy*. W wyniku realizacji projektu opracowano metodę badań oraz stanowisko badawcze wykorzystujące skaner 3D. Dzięki temu otrzymano narzędzie pozwalające na tworzenie przestrzennych obrazów hełmu założonego na głowę człowieka. Uzyskano dzięki temu możliwość symulacji zmian wzajemnego położenia poszczególnych punktów skorupy hełmu i powierzchni głowy podczas uderzenia, co jest cennym narzędziem w analizie istniejących konstrukcji hełmów oraz projektowania nowych rozwiązań.

Podobnie jak we wcześniej prezentowanym przypadku sprzętu chroniącego przed upadkiem z wysokości istotnym problemem jest utrata parametrów ochronnych przez hełmy podczas ich użytkowania. Dla określenia zjawisk powodujących utratę właściwości ochronnych oraz opracowania metod oceny stanu technicznego hełmów, przeznaczonych dla ich użytkowników podjąłem w charakterze kierownika projekt nr 3.S.17 (2008-2010) pt. *Opracowanie materiałów informacyjnych wspomagających pracowników w samodzielnej kontroli użytkowanych środków ochrony indywidualnej*, zrealizowany w ramach Programu Wieloletniego pn. *Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy*. W efekcie przeprowadzonych badań hełmów ochronnych wycofanych z

użytkowania na różnych stanowiskach pracy przygotowano dokumentację prezentującą zmiany w wyglądzie hełmów ochronnych wskazujące na obniżenie parametrów ochronnych i konieczność ich wycofania z użytkowania. Wyniki zaprezentowano w poradniku dla służb BHP: **Baszczyński K.**, Bartkowiak G., Łęzak K., Hrynyk R., Makowski K., Owczarek G. 2010. *Poradnik do samodzielnej kontroli stanu technicznego środków ochrony indywidualnej*. CIOP-PIB, Warszawa, ISBN 978-83-7373-079-3 (załącznik 5 - poz. II.E.6) oraz w artykule wymienionym w załącznik 5 - poz. II.E.14.

6. Sumaryczny dorobek publikacyjny, wynalazczy i wdrożeniowy

Szczegółowe wykazy moich osiągnięć naukowych i aplikacyjnych, po uzyskaniu stopnia doktora, przedstawiłem w załącznikach 5 i 6, a sumaryczny dorobek prezentuję poniżej.

L.p.	KRYTERIUM WEDŁUG §3 p.4, §4 i §5	TAK (liczba)/BRAK
1	2	3
1	Publikacje naukowe w czasopismach z bazy Journal Citation Reports (JCR)	10 [214 pkt. MNiSW/KBN]
2	Zrealizowane oryginalne osiągnięcia projektowe, konstrukcyjne i technologiczne	7
3	Udzielone patenty a) międzynarodowe b) krajowe	Brak
4	Wynalazki oraz wzory użytkowe i przemysłowe, które zostały wystawione na międzynarodowych lub krajowych wystawach lub targach	4
5	Monografie, publikacje naukowe w czasopismach innych niż znajdujące się w bazie JCR	33 [143 pkt. MNiSW/KBN]
6	Autorstwo, współautorstwo poradników, broszur i artykułów popularnonaukowych	11
7	Opracowania zbiorowe, katalogi zbiorów, dokumentacja prac badawczych, ekspertyz	Brak
8	Sumaryczny impact factor według listy Journal Citation Reports (JCR), zgodnie z rokiem opublikowania	5,970
9	Liczba cytowań publikacji według: a) Web of Science - Clarivate Analytics b) Web of Science Core Collection - Clarivate Analytics c) Scopus - Elsevier	a) 30 (14 bez autocytowań) b) 24 (13 bez autocytowań) c) 52 (24 bez autocytowań)
10	Indeks Hirscha według bazy: a) Web of Science - Clarivate Analytics b) Web of Science Core Collection - Clarivate Analytics c) Scopus - Elsevier	a) 3 b) 2 c) 4
11.A	Kierowanie projektami badawczymi: a) międzynarodowymi b) krajowymi	a) Brak b) 17
11.B	Udział w projektach badawczych: a) międzynarodowych b) krajowych	a) 2 b) 13
12	Międzynarodowe i krajowe nagrody za działalność naukową	7
13	Wygłoszenie referatów na tematycznych konferencjach a) międzynarodowych b) krajowych	a) 4 b) 6

1	2	3
14	Uczestnictwo w programach europejskich oraz innych programach międzynarodowych i krajowych	1
15	Aktywny udział w konferencjach naukowych a) międzynarodowych b) krajowych	a) 3 b) 6
16	Udział w komitetach organizacyjnych konferencji naukowych: a) międzynarodowych b) krajowych	a) 1 b) Brak
17	Otrzymane nagrody i wyróżnienia inne niż wymienione wyżej	Brak
18	Udział w konsorcjach i sieciach badawczych	Brak
19	Kierowanie projektami realizowanymi we współpracy z: a) naukowcami z innych ośrodków polskich b) naukowcami z innych ośrodków zagranicznych c) przedsiębiorcami, innymi niż wymienione wyżej	Brak
20	Udział w komitetach redakcyjnych i radach naukowych czasopism	1
21	Członkostwo w międzynarodowych i krajowych organizacjach oraz towarzystwach naukowych	1
22	Osiągnięcia dydaktyczne i w zakresie popularyzacji nauki	4
23	Opieka naukowa nad studentami	4
24	Opieka naukowa nad doktorantami w charakterze: a) opiekuna naukowego b) promotora pomocniczego	Brak
25	Staże w ośrodkach naukowych lub akademickich a) zagraniczne b) krajowe	a) 4 b) Brak
26	Wykonane ekspertyzy lub inne opracowania na zamówienie	5
27	Udział w zespołach eksperckich i konkursowych	3
28	Recenzowanie projektów: a) międzynarodowych b) krajowych	Brak
29	Recenzowanie publikacji w czasopismach: a) międzynarodowych b) krajowych	a) 5 b) 1
30	Inne osiągnięcia	5