

Opracowanie i ocena elastycznej metody montażu obiektów na pergaminie

DOI: 10.36155/NK.24.00007

Aneta Kukuczka-Szarzec

kukuczka.aneta@gmail.com

Dorota Dzik-Kruszelnicka

dorota.dzik@cybis.asp.waw.pl

ORCID: 0000-0002-8709-2651

notes 24_2022
konserwatorski

Summary: Aneta Kukuczka-Szarzec, Dorota Dzik-Kruszelnicka, *Development and evaluation of a flexible mounting method of objects on parchment*

Safe stabilization of the structure and appropriate temperature and humidity conditions are of key importance in the damage prevention of parchment historical artefacts, whether in the form of a leaf or a sheet. This material has a high ability to absorb moisture from the environment, the influence of which may bring about deformation and disortion of the substrate. The course and nature of these changes result from the heterogeneous nature of the parchment, which is specific for each object of this type. The further state of preservation of the object is determined by limiting the possibility of movement of the collagen material and an attempt to prevent their uncontrolled development by ensuring stable environmental conditions and mounting appropriate for the object. The choice of the stabilization method should be made individually for each case, especially when the parchment carries additional layers, e.g. painting layers. The solution applied in museum practice which uses springy polyester strips seems to be a method that takes into account the specific features of this group of objects.

The key objective of the project presented below was to refine the method in several aspects, and then evaluate its effectiveness in variable conditions of

relative humidity (RH). In the first stage, springy polyester strips were prepared. Then, tests were carried out to choose durable materials, selected papers and adhesives, which are components of the flexible mounting. The data obtained allowed the selection of the most effective combination for the presented mounting method, which was used to prepare a mock-up montage. These, in turn, were subjected to conditioning in fluctuating conditions of relative humidity (RH). The obtained results enabled the application of the presented method in the course of conservation-restoration of the *Portrait of the Brothers Herman and Robert von Alvensleben*, pastel on parchment, collections of the Museum of the Castle in Pszczyna (inv. no. MP/S/3289).

The completed research project proved the effectiveness of the flexible method of mounting objects on parchment, and thus may be a reference point for other conservators or determine further development of research in this area.

Wstęp

W profilaktyce konserwatorskiej do stabilizacji pergaminów stosowane są różne sposoby montażu, zarówno sztywne, jak i elastyczne. Sztywne metody nie są jednak wskazane ze względu na pracę materiału kolagenowego. Wśród funkcjonujących elastycznych sposobów stabilizacji, do których należą napięcie za pomocą lnianych nici lub sznurków, pasków papieru japońskiego oraz z użyciem elastycznych pasków poliestrowych, ta ostatnia metoda zdaje się najbardziej obiecująca. Paski sprężynujące uwzględniają tolerancję na zmianę rozmiaru pergaminu, ich reakcja na skurcz czy rozciąganie jest natychmiastowa i niezależna od pozostałych elementów montażu.

Elastyczna metoda montażu za pomocą sprężynujących pasków poliestrowych została zaadaptowana z istniejącego sposobu montażu¹, coraz częściej

¹ N. Duqueyroix, L. Robinet, C. Barbe, *Expandable Polyester Hinges for Parchment Mounting Performance in Fluctuating Environmental Conditions*, „Journal of Paper Conservation” 2015, vol. 16, nr 1, s. 18-26.

znajdującego zastosowanie w konserwacji obiektów muzealnych wykonanych na pergaminie. Zgodnie jednak z podnoszonym w literaturze przedmiotu² postulatem wspomniany model wymaga dalszych badań.

Podstawowy model montażu opiera się na zasadniczych elementach, które stanowią elastyczne paski oraz papierowe zawiasy połączone z pergaminowym podłożem za pomocą spoiwa. Cała konstrukcja montowana jest do sztywnego podłoża, pełniącego funkcję nośnika³.

Badania zostały zaprojektowane etapowo. Na pierwszym etapie (oznaczonym jako I), wykonano sprężynujące paski z odpowiedniego materiału za pomocą cięcia laserowego. Na drugim etapie (oznaczonym jako II), za zadanie postawiono porównanie właściwości wytrzymałościowych poszczególnych składowych układu – spoiw oraz papierów (czyli zawiasu/łącznika). Na trzecim etapie (oznaczonym jako III) poddano ocenie skuteczność wytypowanego rozwiązania w zmiennej RH.

Założenia badawcze

Pierwszym etapem prac było wykonanie elastycznych pasków z folii poliestrowej. Odpowiednia geometria elementu oraz precyzja laserowego cięcia umożliwiają paskom sprężystą pracę, odpowiadającą zmianom wymiarowym obiektu.

W drugiej kolejności, za cel postawiono wytypowanie najlepszych z mechanicznego punktu widzenia materiałów. Spośród różnorodnych substancji

² Tamże, s. 18–26; D. Norman, *The mounting of single leaf parchment & vellum objects for display and storage*, „Conservation Journal” 1993, nr 9, <http://www.vam.ac.uk/content/journals/conservation-journal/issue-09/the-mounting-of-single-leaf-parchment-and-vellum-objects-for-display-and-storage/> [dostęp: 07.07.22]; E. D’Alessandro, *Using Expandable Polyester Hinges to Mount a Double-sided Parchment Folio*, <http://www.pzconservation.org.uk/2018/05/using-expandable-polyester-hinges-to.html> [dostęp: 07.07.22].

³ Program zrealizowano w ramach badań statutowych 2019/2020 na WKiRDS na ASP w Warszawie. Tytuł badań: „Problematyka ekspozycji obiektów”, kierownik: dr Dorota Dzik-Kruszelnicka oraz zespół: Aneta Kukuczka-Szarzec.

klejących stosowanych w konserwacji pergaminu wybrano pięć spoiw (lub ich kombinacji), które zostały poddane badaniom wytrzymałościowym. Wskazana spoina posłużyła do punktowego połączenia papierowego zawiasu z pergaminowym obiektem. Dodatkowo, została porównana siła połączeń różnych spoin w docelowym układzie pergamin – papier. Kolejnym aspektem drugiego etapu prac była ocena wytrzymałości na rozciąganie oraz rozciągliwość trzech papierów japońskich z włókien kozo, o różnej gramaturze.

Ostatecznie, na trzecim, zasadniczym etapie, wytypowane materiały zostały użyte do wykonania makiet montażu. Poddanie makiet zmiennym warunkom RH pozwoliło na ocenę ich efektywności. Wyniki otworzyły dyskusję i umożliwiły ostateczne sformułowanie wniosków dotyczących przydatności wytypowanego montażu elastycznego.

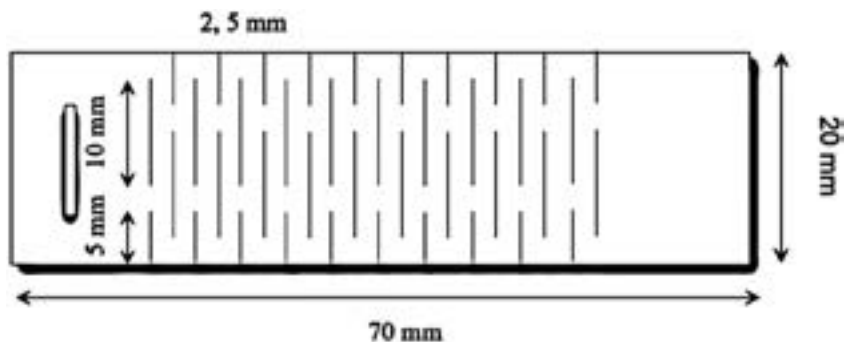
Dobór metod i materiałów

Materiały, podobnie jak ideę elastycznego montażu, częściowo zaadaptowano z opublikowanych materiałów dotyczących wspomnianego zagadnienia. Efektywność pasków poliestrowych, papieru japońskiego oraz spoiw – klejstru pszennego czy żelatyny, poddana została już pewnym badaniom ewaluacyjnym. W celu usprawnienia modelu poszerzono zakres materiałów, zarówno papierów, jak i spoiw, efektywność opracowanej metody zaś poddano ocenie.

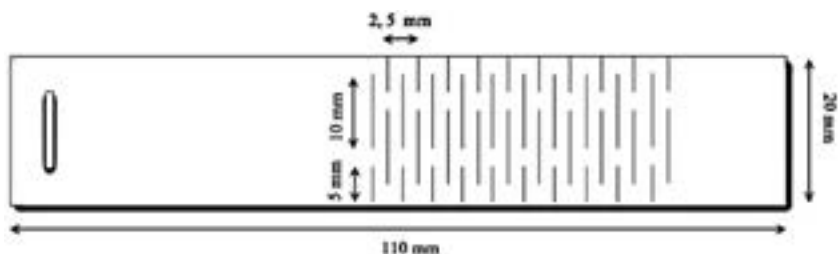
Etap I – wykonanie pasków sprężynujących

Jako materiał wykorzystano neutralną chemicznie folię poliestrową (bez powłok) o grubości 75 µm. Paski wycinano techniką laserową⁴ za pomocą Lasera 600VN. Wycięto dwa rodzaje pasków, jeden zgodnie z propozycją V&A Museum

⁴ Sposób ten daje możliwość uzyskania powtarzalnego produktu, a nacięcia tworzące sprężynę nie mają tendencji do rozerwania w trakcie rozciągania się elementu.



Rys. 1.
Kształt, wymiary oraz schemat nacięć poliesterowego paska montażowego



Rys. 2.
Kształt, wymiary oraz schemat nacięć zmodyfikowanego paska poliesterowego

(rys. 1), drugi wg poniższego schematu (rys. 2). System nacięć zmodyfikowanego paska poliesterowego oraz pewne wymiary są takie same jak w przypadku paska wzorcowego, zapożyczonego z literatury⁵.

Kombinacja nacięć tworzy rodzaj sprężyny zdolnej do rozszerzania się i kurczenia, dostosowując się do ruchów pergaminu. Pasek poliesterowy z pergaminowym podłożem łączy papierowy zawias, którego wymiary nie zostały dokładnie określone. Dostępne źródła sugerują użycie paska o rozmiarach +/- 10-20 x 20 mm i rekomendują zastosowanie do tego celu papieru japońskiego wykonanego w 100% z włókien koza o gramaturze 19 g/m². Zawias powinien

⁵ N. Duqueyroix i in., *Expandable Polyester Hinges...*, wyd. cyt., s. 20.

zostać wycięty tak, aby kierunek włókien przebiegał równoległe do jego dłuższego boku. Papierowy zawias z poliestrem łączy się za pomocą termoplastycznego spoiwa BEVA 371 Film⁶.

Etap II – wytypowanie materiałów i ocena ich właściwości wytrzymałościowych

Wybór odpowiedniej spoiny łączącej papierowy zawias z pergaminem

Spśród mediów stosowanych przez konserwatorów do podłoża pergaminowych, wybrano następujące spoiwa w podanych stężeniach: skrobia oczyszczona Definol (krajster pszenney) – oznaczenie: K, 15 g/110 ml wody, żelatyna fotograficzna – oznaczenie: Ż, 10%, karuk (klej z pęcherzy pławnych jesiotra) – oznaczenie: Kr, 10%, mieszanina 1:1 skrobi oczyszczonej Definol i karuku – oznaczenie: K+Kr, krajster 15 g/110 ml wody, karuk 10%, mieszanina 3:1 Klucel G i Aquazolu 500, oznaczenie: Kl+A, Klucel G 7%, Aquazol 500 10% w alkoholu izopropylowym.

Przygotowanie próbek do porównania właściwości wytrzymałościowych spoin do pergaminu

W celu porównania właściwości wytrzymałościowych spoin wytypowanych i przedstawionych powyżej, przygotowano następujące rodzaje próbek. Wszystkie wykonane próbki posiadały formę paska:

1. Próbki w układzie: pergamin – spoina – pergamin

Do badań wykorzystano pergamin kozi⁷ firmy *Perskór* o grubości +/-0,4 mm. Zastosowano rozmiar próbki zgodny z normą nr PN-EN ISO 1924-2:2010P.

⁶ BEVA 371 Film – termoplastyczne spoiwo na bazie octanu winylowo-etylowego, parafiny i żywicy ketonowej w rozpuszczalniku alifatyczno-aromatycznym. Klej w postaci cienkiego filmu umieszczony jest między błoną poliestrową silikonowaną a papierem silikonowanym.

⁷ Pergamin został wytworzony z surowej skóry koźłej, którą poddano następującym procesom: rozmoczeniu w roztworach mydeł i enzymów (nawodnienie skóry oraz usunięcie ognoje-

Szerokość pojedynczej próbki to 15 mm, zaś długość – 180 mm. Próbkę przygotowano, sklejając ze sobą dwa paski pergaminu (o wymiarach 15 × 120 mm) za pomocą wybranego spoiwa. Powierzchnia klejenia w każdym przypadku wynosiła 5 × 15 mm (czyli całą szerokość paska) i była zlokalizowana na końcu paska. Za pomocą pędzla nakładano taką samą ilość spoiwa. Paski łączono, a następnie pozostawiono do wyschnięcia pod obciążeniem. Każda z próbek została zważona przed i po nałożeniu spoiwa.

2. Próbki w układzie: pergamin – spoina – papier

Wykonano 5 próbek, łącząc pasek pergaminu o wymiarach 15 × 120 mm z paskiem papierowym o tych samych wymiarach. Zastosowano wytrzymały mechanicznie papier japoński Hosokawa z włókien *kozy* o gramaturze 39 g. Kolejno nakładano każde ze spoiw na paski, które łączono jak powyżej.

Zestawienie próbek połączonych różnymi spoiwami w układzie pergamin – papier, obok wyłącznie pergaminowych, miało dowieść nietrwałości takiej kombinacji w trakcie badań wytrzymałościowych na obciążenie zrywające oraz rozciągliwość. Natomiast uzyskane w ten sposób wyniki trwałości samej spoiny byłyby niemiarodajne. W celu wytypowania najmocniejszej spoiny, na etapie badań wytrzymałościowych, świadomie zrezygnowano z paska papierowego – czyli elementu występującego w docelowym montażu – gdyż w tym układzie jest słabszy od samej spoiny (co wykazano w przebiegu badań, por. nr 1–5 w tab. 1). Wybrano materiał bardziej wytrzymały pod względem mechanicznym oraz dodatkowo, tożsamy z materiałem badanego układu.

nia oraz pozostałości krwi – konserwant w postaci soli uniemożliwia rozwój bakterii w surowej skórze), odmięśnianiu (mechaniczne usunięcie tkanki mięsnej), odwłazaniu (mechaniczne usunięcie owłosienia po uprzednim zastosowaniu na skórę mieszaniny wapna oraz enzymów), alkalicznemu spęcznieniu skóry (kąpiel w roztworze wapna – 12 pH, temp. 28°C), usunięciu błon i resztek tkanki mięśniowej, wapnieniu (kąpiel w mleczku wapiennym 2%/150% wody/waga skóry), odwapnieniu (płukanie w roztworze kwasu borowego z dodatkiem siarczanu amonu, enzymy), odtłuszczeniu (enzymy oraz środki powierzchniowo czynne), a w ostatnim etapie – suszeniu po napięciu mokrej skóry na ramę.

3. Paski pergaminowe

Wykonano 4 próbki, wycinając skalpelem z pergaminu paski o wymiarach 15×180 mm. Paski posłużyły do analizy porównawczej pracy samego paska pergaminu względem paska pergaminu połączonego spoiną.

Wybór papierów do wykonania montażu

Wybrano trzy papiery japońskie czerpane wykonane z włókien *kozy*, o różnej gramaturze. Wybór papierów dokonano na podstawie literatury, według której papiery japońskie, szczególnie długowłókniste i ręcznie czerpane, należą do papierów mocnych oraz stabilnych wymiarowo⁸. Te dwie cechy stanowiły główne aspekty założeń dotyczących doboru odpowiedniego papieru dla opisanego wyżej montażu elastycznego. Wybór papieru japońskiego oraz jego gramaturę podyktowały również publikacje odnoszące się do elastycznego montażu⁹. Konserwatorzy z Victoria&Albert Museum zaproponowali użycie papieru japońskiego 19 g/m^2 , co stało się punktem odniesienia w wyborze grubości papieru oraz finalnie – porównaniu ich właściwości mechanicznych. Użycie konkretnych, opisanych poniżej materiałów wyniknęło także z ich dostępności na rynku konserwatorskim. Do badań wykorzystano następujące papiery: papier K38 – 16 g/m^2 – oznaczenie: A, KAWANAKA – 29 g/m^2 – oznaczenie: B, HOSOKAWA – 39 g/m^2 – oznaczenie: C.

8 W. Liszewska, *Papier japoński jako materiał w konserwacji dzieł sztuki*, „Ochrona Zabytków” 1998, nr 3, s. 129, [http://bazhum.muzhp.pl/media/files/Ochrona_Zabytkow/Ochrona_Zabytkow-r1998-t51-n3_\(202\)/Ochrona_Zabytkow-r1998-t51-n3_\(202\)-s266-272/Ochrona_Zabytkow-r1998-t51-n3_\(202\)-s266-272.pdf](http://bazhum.muzhp.pl/media/files/Ochrona_Zabytkow/Ochrona_Zabytkow-r1998-t51-n3_(202)/Ochrona_Zabytkow-r1998-t51-n3_(202)-s266-272/Ochrona_Zabytkow-r1998-t51-n3_(202)-s266-272.pdf) [dostęp: 07.07.22].

9 Zastosowanie montażu za pomocą elastycznego paska poliestrowego, w którym łącznikiem z obiektem zabytkowym jest pasek papieru, można odnaleźć w poniższych publikacjach: N. Duqueyroi i in., *Expandable Polyester Hinges...*, wyd. cyt., s. 20; D. Norman, *The mounting of single leaf parchment & vellum objects...*, wyd. cyt., E. D'Alessandro, *Using Expandable Polyester Hinges...*, wyd. cyt.

Przygotowanie i oznaczenie próbek do porównania właściwości wytrzymałościowych papierów

Rozmiar próbek spełnia normę dla papieru nr PN-EN ISO 1924-2:2010P. Z wybranych papierów japońskich z włókien *kozo* o różnej gramaturze wycięto próbki o szerokości 15 mm i długości 180 mm. Próbki wycinano za pomocą skalpela z najwyższą precyzją. Przygotowano po 20 próbek z każdego papieru (A, B, C) z kierunku wzdłuż włókien (w. 1. – w. 10.) oraz w poprzek włókien (p. 1. – p. 10.).

Badanie właściwości wytrzymałościowych próbek. Oznaczenie wytrzymałości na rozciąganie oraz rozciągliwość

Badania zostały przeprowadzone w zrywarce typu Automatyczny Tester Zrywania model DI-21, Regmed na WKiRDS na ASP w Warszawie. W przebiegu badań została oznaczona wytrzymałość na rozciąganie oraz rozciągliwość. Pomiar wytrzymałości na rozciąganie wykonano zgodnie z normą nr PN-EN ISO 1924-2:2010P. Zamocowaną próbkę rozciągano ze stałą prędkością 20 mm/min do momentu zerwania. Otrzymane wyniki podano w niutonach (N). Zbadano również rozciągliwość, czyli wydłużenie próbki pod wpływem siły rozciągającej w momencie zerwania. To oznaczenie podano w mm.

Wszystkie próbki (89 sztuk) zostały poddane klimatyzowaniu w znormalizowanych warunkach, w temp. 23°C +/-1 oraz RH 50 +/-2% (PN-EN 20187:2000P) przez 4 doby w przypadku próbek pergaminowych i 2 doby w przypadku próbek papierowych.

Wyniki badań etapu II

Tabela 1. Porównanie siły spoin. Zestawienie pomiarów obciążenia zrywającego oraz rozciągliwości pasków pergaminowych połączonych różnymi spoiwami nr 1–20: K. – kłajster (nr 1–4), Ż. – żelatyna (nr 5–8), Kr. – karuk (nr 9–12), K.+Kr. – kłajster + karuk (nr 13–16), Kl.+A. – Klucel + Aquazol (nr 17–20)

Nr	Oznaczenie próbki	Obciążenie zrywające (N)	Rozciągliwość (mm)	Średnia wartość obciążenia zrywającego (N)	Średnia wartość dla rozciągliwości (mm)
1	K.1	64,94	2,41	64,98	2,45
2	K.2	error	error		
3	K.3	64,8	2,44		
4	K.4	65,21	2,49		
5	Ż.1	63,15	2,34	52,04	1,84
6	Ż.2	54,51	1,98		
7	Ż.3	48,19	1,61		
8	Ż.4	53,41	1,92		
9	Kr.1	111,21	5,59	119,35	6,65
10	Kr.2	124,11	7,21		
11	Kr.3	122,74	7,15		
12	Kr.4	72,49	3,04		
13	K.+Kr.1	133,17	9,44	134,62	9,47
14	K.+Kr.2	138,53	9,74		
15	K.+Kr.3	132,16	9,23		
16	K.+Kr.4	76,2	2,94		
17	Kl.+A.1	42,84	1,26	15,45	0,46
18	Kl.+A.2	60,00	1,66	15,45	0,46
19	Kl.+A.3	15,38	0,47		
20	Kl.+A.4	15,51	0,45		

Tabela 2. Porównanie siły spoin. Zestawienie pomiarów obciążenia zrywającego oraz rozciągliwości pasków pergaminowo-papierowych połączonych różnymi spoiwami nr 1–5: K. – klajster (nr 1), Ż. – żelatyna (nr 2), Kr. – karuk (nr 3), K.+Kr. – klajster + karuk (nr 4), Kl. +A. – Klucel + Aquazol (nr 5)

Nr	Oznaczenie próbki	Obciążenie zrywające (N)	Rozciągliwość (mm)	Średnia wartość obciążenia zrywającego (N)	Średnia wartość dla rozciągliwości (mm)
1	K.5	32,13	2,98	33,61	2,99
2	Ż.5	34,32	2,98		
3	Kr.5	33,64	2,94		
4	K.+Kr.5	35,56	3,24		
5	Kl.+A.5	32,40	2,81		

Tabela 3. Zestawienie pomiarów obciążenia zrywającego oraz rozciągliwości pasków pergaminowych (nr 1–4)

Nr	Oznaczenie próbki	Obciążenie zrywające (N)	Rozciągliwość (mm)	Średnia wartość obciążenia zrywającego (N)	Średnia wartość dla rozciągliwości (mm)
1	Perg.0.1	259,90 (gr.6)	35,33	(zwiększona prędkość rozciągania – 80 mm/min) 235,73	33,10
2	Perg.0.2	251,93	36,21		
3	Perg.0.3	204,43	27,54		
4	Perg.0.4	226,67	33,33		

Tabela 4. Porównanie wytrzymałości papierów. Zestawienie pomiarów obciążenia zrywającego oraz rozciągliwości pasków papierowych A – papier K38 – 16 g/m²: A.w. – kierunek wzdłuż włókien (nr 1–10), A.p. – kierunek w poprzek włókien (nr 11–20)

Nr	Oznaczenie próbki	Obciążenie zrywające (N)	Rozciągliwość (mm)	Średnia wartość obciążenia zrywającego (N)	Średnia wartość dla rozciągliwości (mm)
1	A.w. 1.	10,98	2,67	10,89	2,55
2	A.w. 2.	9,89	2,28		
3	A.w. 3	11,12	2,92		
4	A.w. 4	11,12	2,70		
5	A.w. 5	10,57	2,89		
6	A.w. 6	9,89	2,52		
7	A.w.7	10,43	2,86		
8	A.w. 8	12,63	2,30		
9	A.w. 9	10,30	1,74		
10	A.w. 10	11,94	2,57		
11	A.p. 1	5,35	2,82	4,49	2,33
12	A.p. 2	4,53	2,26		
13	A.p. 3	4,12	2,21		
14	A.p. 4	5,22	3,09		
15	A.p. 5	4,67	2,41		
16	A.p. 6	4,26	1,92		
17	A.p. 7	3,30	2,04		
18	A.p. 8	4,53	2,24		
19	A.p. 9	5,22	2,57		
20	A.p. 10	3,71	1,77		

Tabela 5. Porównanie wytrzymałości papierów. Zestawienie pomiarów obciążenia zrywającego oraz rozciągliwości pasków papierowych B – KAWANAKA – 29 g/m²: B.w. – kierunek w poprzek włókien (nr 1–10), B.p. – kierunek wzdłuż włókien (nr 11–20)

Nr	Oznaczenie próbki	Obciążenie zrywające (N)	Rozciągliwość (mm)	Średnia wartość obciążenia zrywającego (N)	Średnia wartość dla rozciągliwości (mm)
1	B.w. 1	29,66	4,25	28,34	4,05
2	B.w. 2	28,83	4,12		
3	B.w. 3	27,60	4,03		
4	B.w. 4	28,83	3,97		
5	B.w. 5	28,69	3,88		
6	B.w. 6	27,73	3,93		
7	B.w. 7	28,01	4,11		
8	B.w. 8	28,28	4,20		
9	B.w. 9	28,83	3,93		
10	B.w. 10	26,91	4,11		
11	B.p. 1	16,34	3,58	17,56	3,44
12	B.p. 2	22,52	3,37		
13	B.p. 3	15,93	3,36		
14	B.p. 4	16,61	3,69		
15	B.p. 5	15,79	2,89		
16	B.p. 6	15,24	2,82		
17	B.p. 7	20,87	3,65		
18	B.p. 8	18,67	3,86		
19	B.p. 9	17,16	3,49		
20	B.p. 10	16,48	3,70		

Tabela 6. Porównanie wytrzymałości papierów. Zestawienie pomiarów obciążenia zrywającego oraz rozciągliwości pasków papierowych C – HOSOKAWA – 39 g/m²: C.w. – kierunek w poprzek włókien (nr 1–10), C.p. – kierunek wzdłuż włókien (nr 11–20)

Nr	Oznaczenie próbki	Obciążenie zrywające (N)	Rozciągliwość (mm)	Średnia wartość obciążenia zrywającego (N)	Średnia wartość dla rozciągliwości (mm)
1	C.w. 1	29,79	4,26	31,54	4,37
2	C.w. 2	31,85	4,66		
3	C.w. 3	32,40	4,42		
4	C.w. 4	31,85	4,47		
5	C.w. 5	33,22	4,28		
6	C.w. 6	31,30	4,56		
7	C.w. 7	32,13	3,99		
8	C.w. 8	31,17	4,40		
9	C.w. 9	32,68	4,41		
10	C.w. 10	28,97	4,21		
11	C.p. 1	12,77	3,67	14,24	3,79
12.	C.p. 2	13,73	3,92		
13	C.p. 3	14,28	4,36		
14	C.p. 4	14,83	2,98		
15	C.p. 5	12,49	3,81		
16	C.p. 6	13,73	4,00		
17	C.p. 7	14,14	4,51		
18	C.p. 8	16,34	3,39		
19	C.p. 9	15,93	4,06		
20	C.p. 10	14,14	3,24		

Omówienie wyników i wnioski z badań etapu II

Na drugim etapie porównano właściwości wytrzymałościowe poszczególnych składowych układu – spoiw oraz papierów. Wyniki badań dotyczące spoiw zamieszczono w tab. 1, poz. 1–20. W każdym zestawieniu odrzucono jeden pomiar (oznaczony na czerwono), którego wartość znacznie różniła się od pozostałych. Wyraźnie wyższą lub niższą wartość jednego pomiaru dla spoiw wodnych (lub dwóch w przypadku spoiw alkoholowych), należy uznać za błąd pomiaru wynikający z ograniczeń sprzętowych bądź wady technologicznej¹⁰. Podstawę do wiarygodnej interpretacji stanowiły zatem trzy lub dwa pozostałe wyniki.

Na podstawie analizy wyników można stwierdzić, iż najmocniejszą spoinę otrzymujemy wykorzystując mieszankę gęstego klejstru pszennego (15 g/110 ml H₂O) i karuku (10%) w stosunku 1:1. Kolejno – karuk (10%), klejster (15 g/110 ml H₂O), żelatyna (10%). Najslabszą natomiast okazała się mieszanka spoiw na bazie alkoholu – Klucelu G (7%) oraz Aquazolu (10%).

Klejster z karukiem są spoiwami na bazie wody, które w przypadku silnie zdegradowanego pergaminu mogą działać destrukcyjnie. Dyskusyjna może być także całkowita odwracalność spoiw, które z łatwością wnikają w porowate podłoże pergaminu. Szczególnie w przypadku pergaminów historycznych, w których zachodzące już naturalne procesy degradacyjne spowodowały zmiany w strukturze kolagenu. Włókna są bardziej rozdrobnione i charakteryzują się otwartą strukturą, w którą łatwiej wniknąć¹¹. Mimo

¹⁰ Wada technologiczna mogła powstać na etapie przygotowania próbek, tudzież wynikać z charakteru samego pergaminu, materiału niezwykle heterogenicznego. Pergaminy w miejscu łączenia mogły być bardziej zatłuszczone, zżelatynowane, charakteryzować się bardziej zwartą strukturą, gładszą powierzchnią czy obecnością innych substancji, np. dodanych w trakcie wytwarzania. Mimo precyzji i starannego doboru pergaminu, cechy te mogły być niezauważalne gołym okiem.

¹¹ K. M. Axelsson, R. Larsen, D. V. P. Sommer, R. Melin, *Degradation of collagen in parchment under the influence of heat-induced oxidation: Preliminary study of changes at macroscopic, microscopic, and molecular levels*, „Studies in Conservation” 2016, vol. 61, wyd. 1, s. 1, 10.

to, oba te spoiwa posiadają szereg właściwości, które – uzupełniając się w wielu aspektach – odpowiadają potrzebom pergaminu. Wspólnie tworzą naturalną i bezpieczną mieszaninę, a powstała spoina jest mocna, elastyczna i sprężysta.

Podobnie karuk, jako samodzielne spoiwo, którego spoina równie dobrze wypada w badaniach, mógłby z powodzeniem zostać zastosowany do montażu papierowych zawiasów. Średnia wartość obciążenia zrywającego wynosi 119,35 N i jest ona niewiele niższa niż w przypadku mieszanki z kłajstrem pszennym (134,62 N). Podczas gdy dla samego kłajstru (64,98 N) ta sama wartość stanowi niemal połowę tego wyniku, dla żelatyny (52,04 N) nie osiąga nawet połowy. To sprawia, iż użycie kłajstru pszennego czy żelatyny nie gwarantuje uzyskania trwałego i stabilnego połączenia.

Spoiwa na bazie alkoholu, jak pokazują badania, nie spełniają wymaganych założeń. Wynika to prawdopodobnie z obecności rozpuszczalnika różnego od wody. W przypadku pergaminu proces szybszego odparowywania nie sprzyja powstawaniu trwałej i mocnej spoiny. Wartości jakie uzyskano są wyraźnie niższe w porównaniu z innymi spoiwami.

Próbki pergamin – papier, jak domniemano, niezależnie od rodzaju użytego spoiwa (tab. 2, poz. 1–5) w czasie badań uzyskały porównywalne wartości, ponieważ w każdym przypadku miejscem, które ulegało zerwaniu był papier, a nie strefa łączenia. Zasadne zatem okazało się użycie wyłącznie próbek w zestawieniu pergamin – spoiwo – pergamin w badaniach wytrzymałościowych spoin klejowych.

Wartości obciążenia zrywającego dla próbek pergaminowych (tab. 3, poz. 1–4) (średnia wartość – 235,73 N) były dwukrotnie wyższe względem próbek pergaminowych połączonych „najtrwalszą” spoiną, tj. mieszanką kłajstru i karuku (średnia wartość – 134,62 N) przy czterokrotnie zwiększonej prędkości rozciągania. (Założone w metodyce parametry pomiaru okazały się niewystarczające i wymagały zwielokrotnienia w czasie badania – por. tab. 1 i 3). Porównanie tych dwóch rodzajów próbek dowodzi silnie związanej i wytrzymałej, ale również wysoce rozciągliwej struktury pergaminu, dla której niezbędny

jest dobór odpowiednio wytrzymałych materiałów do stabilizacji tego rodzaju artefaktów.

Wartości wyników dla próbek papierowych (tab. 4, 5, 6, poz. 1–20) są proporcjonalne do ich gramatury. Papier o niższej gramaturze (16 g/m²) wykazuje się mniejszą wytrzymałością niż papier o wyższej gramaturze (29 oraz 39 g/m²). Wyniki osiągają większe wartości dla wszystkich papierów ciętych zgodnie z ich kierunkiem.

Interpretacja i analiza zaprezentowanych wyników badań pozwala na sformułowanie konkretnych wniosków. Co prawda, nie jesteśmy w stanie zagwarantować idealnego, wolnego od wad sposobu montażu dla tak wymagającego materiału, jakim jest pergamin, jednak możemy podjąć próbę doprecyzowania zaproponowanej metody. Newralgicznym punktem montażu elastycznego jest miejsce łączenia obiektu z papierowym zawiasem oraz wytrzymałość samego materiału. Aby zminimalizować ryzyko uszkodzenia montażu w tych miejscach, należy wybierać przede wszystkim spoiwa bezpieczne dla obiektów, ale również gwarantujące mocną i elastyczną spoinę. Do takich należy mieszanka kłajstru pszennego (15 g/110 ml H₂O) oraz karuku (10%) w stosunku 1:1, bądź czystego karuku (10%). Użycie żelatyny czy spoiw alkoholowych nie jest wykluczone, ale przed zastosowaniem zaleca się przeprowadzenie prób pozwalających na ocenę ich skuteczności w wyższych stężeniach. Kłajster pszenny (jako samodzielne spoiwo), mimo pozytywnej oceny konserwatorów z Victoria&Albert Museum¹², w świetle prezentowanych badań nie znajduje miejsca w czołówce rekomendowanych spoiw.

Przy wyborze papierowego zawiasu należy kierować się przede wszystkim jakością papieru, co gwarantuje jego wytrzymałość mechaniczną, a także stabilność w czasie. Nie bez znaczenia pozostaje również kierunek i gramatura materiału. Optymalnym rozwiązaniem byłoby więc użycie papierów o gramaturze minimum 29 g/m², powstałych z mas długowłóknistych (szczególnie *kozy*),

¹² N. Duqueyrox i in., *Expandable Polyester Hinges...*, wyd. cyt., s. 18–26.

ręcznie czerpanych, w przypadku zaś papierów wykazujących kierunkowość – ciętych zgodnie z kierunkiem.

Etap III – ocena skuteczności proponowanego sposobu montażu

Na podstawie analizy wyników badań stanowiących II etap programu badawczego, wytypowano najtrwalszą pod względem mechanicznym spoinę – mieszanekę klejstrowego (15 g/110 ml H₂O) i karuku (10%) w stosunku 1:1 oraz rodzaj papieru japońskiego – 39 g/m² (Hosokawa). Informacje te pozwoliły na przygotowanie atrapy montażu i poddanie ocenie ich skuteczności w zmiennej RH.

Przygotowanie pasków poliestrowych

Przygotowane poliestrowe paski poddano dalszym czynnościom, mającym na celu wykorzystanie ich do zamontowania pergaminu do podłoża. W tym celu, w pierwszej kolejności, wykonano papierowe zawiasy, stanowiące element łączący sprężynujące, poliestrowe paski z pergaminem.

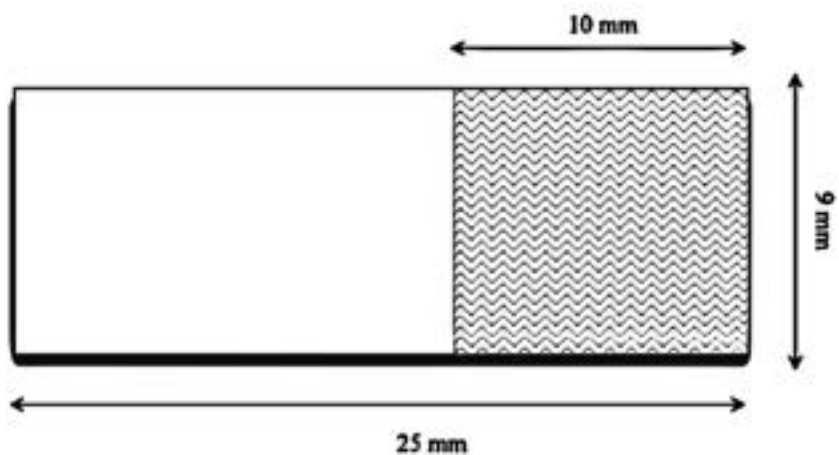
Z papieru japońskiego, zgodnie z kierunkiem włókien, wycięto zawiasy o wymiarach 9×25 mm, następnie każdy z nich na szerokości 10 mm powleczono termoplastyczną folią *BEVA 371 Film* (rys. 3).

Kolejno, z jednej strony, paski poliestrowe połączono z papierowymi zawiasami, zgrzewając naniesiony wcześniej klej przy pomocy kautera. Analogicznie, na drugim końcu zawiasu zaaplikowano to samo spoiwo, które później posłuży do połączenia z tekturowym podłożem.

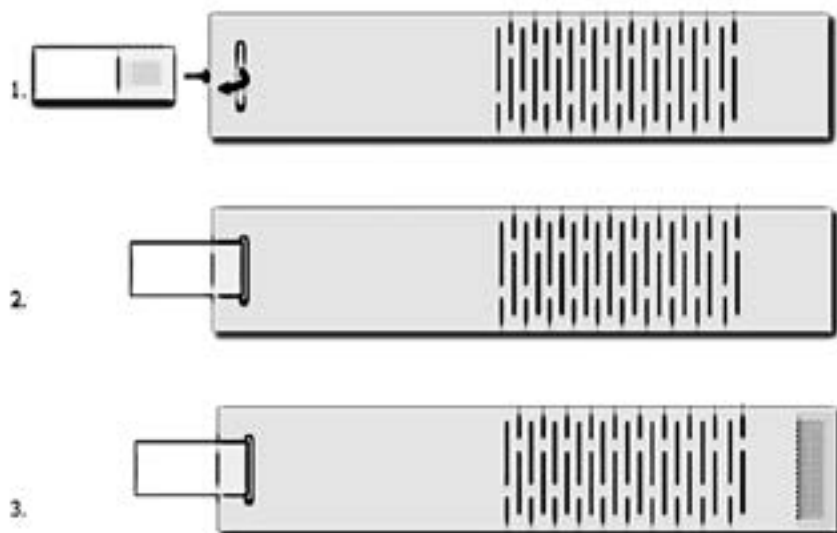
Sposób łączenia i proces przygotowania pasków do montażu zilustrowano na rys. 4.

Przygotowanie i oznaczenie próbek pergaminu do montażu

Z pergaminu (ten sam rodzaj pergaminu wykorzystano w II etapie badań), wycięto precyzyjnie za pomocą skalpela 6 kawałków o wymiarach 200 × 200 mm. Trzy z nich wycięto z obszaru grzbietu zgodnie z jego kierunkiem (S – część grzbietowa, ang. *spine*), od strony karku i oznaczono kolejno: AS, BS, CS. Trzy



Rys. 3.
Wymiary papierowego zawiasu



Rys. 4.
Proces przygotowania paska montażowego: 1) i 2) mocowanie papierowego zawiasu,
3) naniesienie spoiwa na końcu paska

kolejne natomiast – z jednego obszaru partii nóg i części bocznej skóry zwierzęcia (część boczna i partia nóg, ang. *leg*) i analogicznie jak wyżej podpisano AL, BL, CL.

Na każdym arkuszu wyznaczono 20 punktów, służących do określenia wymiarów liniowych w zmiennym RH w dalszej części badań. Punkty oznaczono: A, B, C, D, E, a, b, c, d, e oraz odpowiadające im punkty na przeciwległych krawędziach: A', B', C', D', E', a', b', c', d', e' (rys. 5).

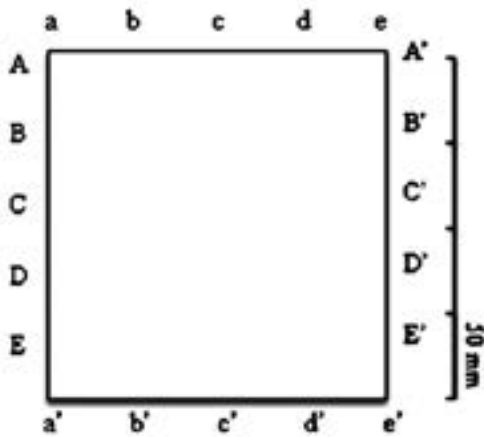
Przygotowanie podłoża do montażu

Do zamontowania pergaminów wybrano rekomendowany przez konserwatorów nośnik w postaci wielowarstwowej tektury o strukturze plastra miodu. Buforowane podłoże o grubości 14 mm wykonane jest w całości z czystych włókien α -celulozy. Charakteryzuje się ono lekkością oraz dużą stabilnością. Wycięto cztery panele, dwa o wymiarach 400 × 400 mm oraz dwa – 240 × 240 mm. Podłoże posłużyły do przygotowania dwóch różnych typów montażu.

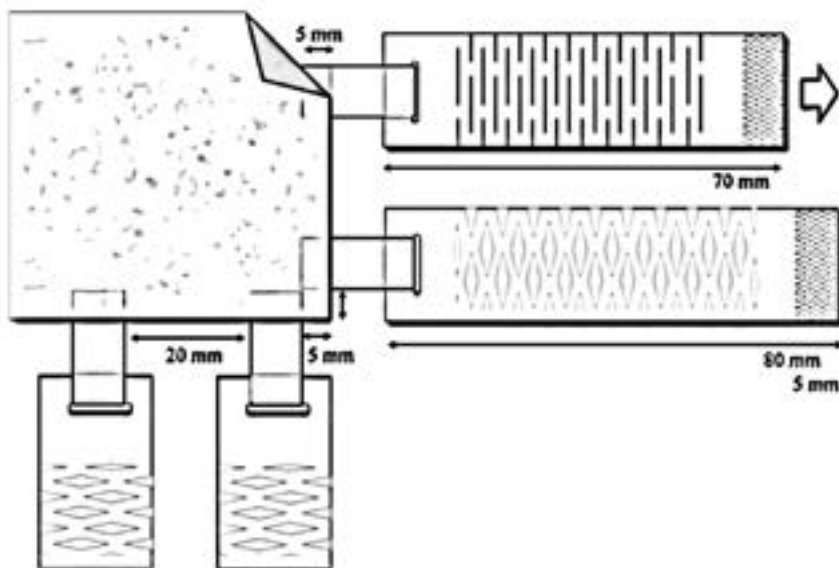
Wykonanie atrap montażu

Elastyczne paski poliestrowe przymocowano do pergaminu papierowymi zawiaskami na szerokość 5 mm za pomocą mieszaniny kleju pszennego (15 g/110 ml H₂O) oraz karuku (10%) w stosunku 1:1. Paski przyczepiono do czterech arkuszy pergaminu (BS, CS, BL, CL). Na każdy z nich przypadało 28 pasków sprężynujących, w tym po 7 na każdy bok. Rozmieszczono je w około 10-milimetrowych odstępach między sobą. W narożnikach papierowe zawiasy znajdowały się w odległości 5 mm od krawędzi arkusza (rys. 6). Przygotowany pergamin umieszczono na tekturowym podłożu, następnie symetrycznie rozciągając paski o 10 mm¹³ każdy, przymocowywano je do nośnika, zgrzewając klej na końcach poliestrowych mocowań.

¹³ Rozciągnięcie paska o 10 mm wyniknęło z zaadaptowania geometrii sprężynującego układu z badanego i funkcjonującego z powodzeniem rozwiązania. Daje to delikatne naprężenie struktury, umożliwiające dalszą pracę sprężyny – rozprężanie się przy skurczu pergaminu



Rys. 5.
Rozmieszczenie punktów
na pojedynczym arkuszu pergaminu

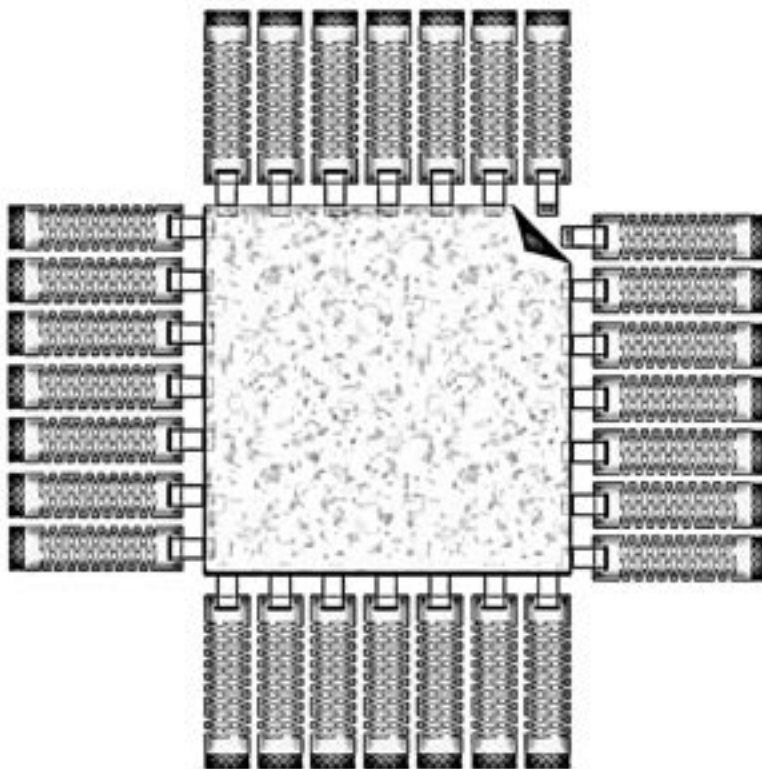


Rys. 6.
Montaż pergaminu za pomocą pasków sprężynujących – odległości i wymiary

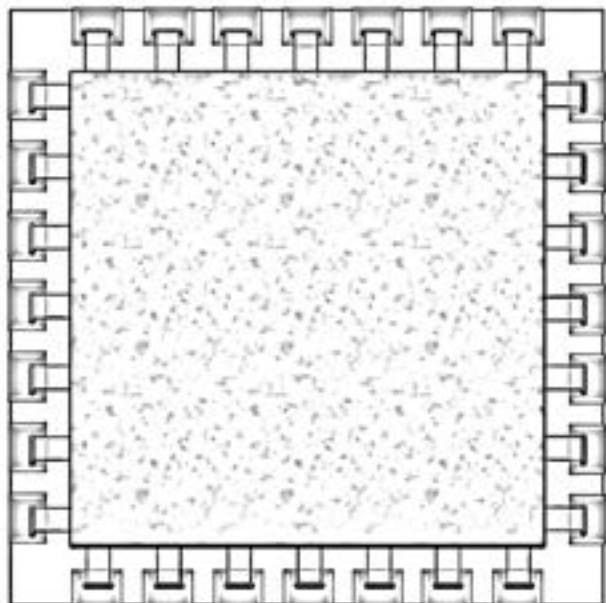
i sprężanie przy rozciąganiu pergaminu. Lokalne zmiany wymiarowe rozkładają się na prace sprężyn układu, utrzymując relatywnie płaską powierzchnię.

Wykonano dwa typy atrap elastycznego montażu. W pierwszym przypadku (atrapy BS i BL) wykorzystano 70-milimetrowe paski poliestrowe, które znalazły się na licu tekturowego podłoża (tektura o wymiarach 400×400 mm), (rys. 7). Do drugiego (atrapy CS i CL) natomiast celowo zostały one wydłużone, tak aby mogły zostać zawinięte i zamocowane na odwrociu nośnika (tektura o wymiarach 240×240 mm), (rys. 8).

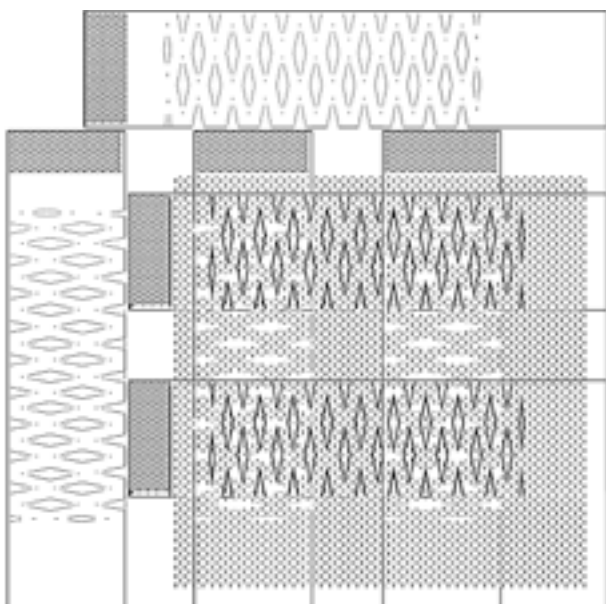
W montażu typu II paski sprężynujące w narożnikach na odwrociu tektury krzyżowały się, co mogłoby zaburzać ich prawidłowe funkcjonowanie. W związku z tym oddzielono je punktowo, wklejając pomiędzy nie cienką folię poliestrową (rys. 9). Arkusze pergaminu AS oraz AL pozostawiono niezamocowane.



Rys. 7.
Atrapa montażu – typ I



Rys. 8.
Atrapa montażu – typ II



Rys. 9.
Sposób mocowania
pasków poliesterowych
na odwrociu tektury,
typ montażu II – frag-
ment prawego dolnego
narożnika montażu
z krzyżującymi się
poliesterowymi spręży-
nami odizolowanymi
od siebie folią poliesterową
(wykropkowany obszar)

Scenariusz fluktuacji RH – uzasadnienie

W przypadku obiektów na podłożu pergaminowym, mając na uwadze specyfikę materiału, należało dobrać zasadne warunki starzenia. Wybór parametrów oparto zarówno na wytycznych dotyczących przechowywania pergaminów, przeglądzie badań i zakładanych w nich wartościach, jak i na własnych celach badawczych.

Podawane są różne wytyczne dotyczące warunków przechowywania pergaminu, w literaturze zaś podkreślany bywa brak wystarczających przesłanek leżących u ich podstaw¹⁴.

Zalecane warunki przechowywania, oparte na dowiedzionej zmianie właściwości mechanicznych pergaminu przy wilgotności względnej poniżej 25%, sugerują RH w przedziale 30–40% (+/-5%)¹⁵. Inne, bardziej kompromisowe propozycje zakładają wilgotność 40–50% RH lub nawet wyższą¹⁶.

W przypadku obiektów na podłożu pergaminowym, warunki starzenia opierają się na cyklach wahań wilgotności, światło uznając za mniej istotne w aspekcie archiwalnych czy bibliotecznych warunków przechowywania¹⁷.

Przegląd literatury pokazuje, że przyjmowane są różne scenariusze fluktuacji RH, w zależności od celów badawczych i dla nowych próbek pergaminu

14 G. L. Gonzalez, T. J. Wess, *Effects of hydration on the collagen and gelatine phases within parchment artefacts*, „Heritage Science” 2013, vol. 1, nr 14, s. 2–8; C. M. Popescu, C. A. S. Hill, C. Kennedy, *Variation in the sorption properties of historic parchment evaluated by dynamic water vapour sorption*, „Journal of Cultural Heritage” 2016, vol. 17, s. 87–94.

15 E. F. Hansen, S. N. Lee, H. Sobel, *The Effects of Relative Humidity on Some Physical Properties of Modern Vellum: Implications for the Optimum Relative Humidity for the Display and Storage of Parchment*, „Journal of the American Institute for Conservation” 1991, vol. 31, nr 3, s. 325–342.

16 B. M. Haines, *Parchment: The physical and chemical characteristics of parchment and the materials used in its conservation*, The Leather Conservation Center 1999, s. 1–33; Ch. S. Woods, *The conservation of parchment*, [w:] *Conservation of Leather and Related Materials*, ed. M. Kite, R. Thomson, 2006, s. 209.

17 W. Liszewska, *New methods of leafcasting in the conservation of historic parchments*, Warszawa 2017.

przyjmują wartości takie jak: 20–95–20% RH¹⁸, 40–60–80% RH¹⁹, 40–80% RH²⁰, 75–67–58–48–38–33–9% RH²¹, 35–70–35% RH²², 35–75% RH²³.

W poniższych badaniach założono fluktuację wartości wilgotności względnej wychodzącą od warunków klimatyzowania próbek, mianowicie $T=20\pm 2^{\circ}\text{C}$ oraz $\text{RH}=50\pm 2\%$. Wartości w kolejnych etapach wynosiły 35–20–50–65–80–50%. Taki scenariusz odpowiada przyjętym, choć dyskusyjnym²⁴, muzealnym, bibliotecznym bądź archiwalnym standardom, w których warunki często dostosowane są do konieczności przechowywania różnorodnej kolekcji w jednym, wspólnym magazynie.

Założeniem przyjętego scenariusza fluktuacji RH była symulacja faktycznych zmian warunków, jakich może doświadczać obiekt.

18 J. Dernovšková, H. Jirasová, J. Zelinger, *An investigation of the hygroscopicity of parchment subjected to different treatments*, „Restaurator” 1995, nr 16, s. 31–44, <https://doi.org/10.1515/rest.1995.16.1.31> [dostęp: 07.07.22].

19 M. Vest, J. Jacobsen, R. Larsen, *Accelerated Aging: Effect of heat and relative humidity, Improved Damage Assessment of Parchment – Assessment, Data Collection and Sharing of Knowledge (IDAP)*, ed. R. Larsen, Luxemburg 2007.

20 E. Badea, G. Dalla Gatta, T. Usacheva, *Effects of temperature and relative humidity on fibrillar collagen within parchment: a micro Differential Scanning Calorimetry (micro DSC) study*. *Polymer Degradation and Stability*, https://www.researchgate.net/publication/224862210_Effects_of_temperature_and_relative_humidity_on_fibrillar_collagen_within_parchment_a_micro_Differential_Scanning_Calorimetry_micro_DSC_study [dostęp: 07.07.22].

21 N. Duqueyrox i in., *Expandable Polyester Hinges...*, wyd. cyt., s. 18–26.

22 W. Liszewska, *New methods...*, wyd. cyt.

23 M. S. Kern, A. Pataki-Hundt, J. Wouters, D. Kirby, *Accelerated Aging of Parchment: Investigation of Photo Catalysed, Low-Heat Approach*, „Restaurator” 2018, nr 39, s. 33–70.

24 E. Hansen, S. N. Lee, H. Sobel, *The Effects of Relative Humidity on Some Physical Properties of Modern Vellum: Implications for the Optimum Relative Humidity for the Display and Storage of Parchment*, „Journal of the American Institute for Conservation” 1991, vol. 31, nr 3, s. 325–342; E. Badea i in., *Effects of temperature...*, wyd. cyt.; G. L. Gonzalez i in., *Effects of hydration...*, wyd. cyt.

Aby prześledzić wpływ wahań/fluktuacji wilgotności względnej na zmiany wymiarowe próbek pergaminu (i odpowiedź zaproponowanego systemu montażu), założono stałą wartość temperatury (T).

Klimatyzowanie atrapy montażu

Przygotowane atrapy montażu zostały poddane sezonowaniu w komorze klimatycznej typu CTS C-20/350 na WKiRDS na ASP w Warszawie.

Próbki (luźne arkusze pergaminu oznaczone jako próbki „o” oraz atrapy z zamocowanymi pergaminami) umieszczono w komorze i poddano procesowi sezonowania w zmiennych warunkach wilgotności względnej RH przy stałej temperaturze 20°C. Cykl trwał 10 dni, w czasie których przez pierwsze i ostatnie 48 godzin próbki były poddane klimatyzowaniu w warunkach określonych jako zalecane dla pergaminów (50% wilgotności). Następnie w każdej kolejnej dobie następowała zmiana tych parametrów – odpowiednio 35%, 20%, 50%, 65% i 80% wilgotności względnej.

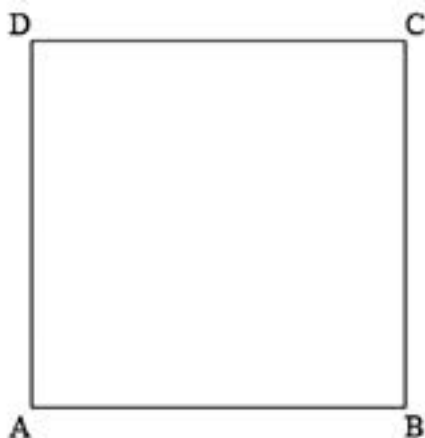
Każdorazowo, po upływie 24 godzin w danych warunkach próbki fotografowano, dokonywano pomiarów metodą tradycyjną i odnotowywano ewentualne zmiany wymiarowe, które posłużyły do oceny zastosowania montażu elastycznego do artefaktów pergaminowych.

Przebieg i wyniki badań w etapie III

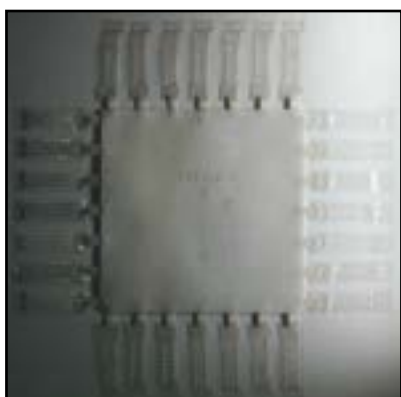
Badania polegały na umieszczeniu w komorze pergaminów o tych samych wymiarach, grubości oraz pochodzeniu. Materiał badawczy podzielono na dwie grupy – odpowiednio *leg* i *spine*, co zostało opisane powyżej. W grupie *leg* znajdował się luźny arkusz pergaminu, zamontowany pergamin typ I oraz zamontowany pergamin typ II. W grupie *spine* znajdował się, analogicznie, luźny arkusz pergaminu, zamontowany pergamin typ I oraz zamontowany pergamin typ II. Dało to 6 próbek, które poddano sezonowaniu w tym samym czasie i w tych samych warunkach.

Badania zostały zaprojektowane w ten sposób, aby można było zaobserwować zmiany wymiarowe oraz odkształcenia pergaminów swobodnie pozostawionych

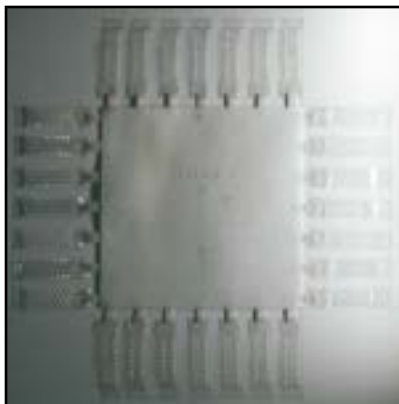
względem tych, które ustabilizowano montażem. Obok rejestracji obrazu (fot. 1–4), dokumentacja zmian polegała również na fizycznym zmierzeniu odpowiadających sobie punktów na każdej krawędzi arkusza pergaminu (rys. 5). Po każdym 24-godzinnym cyklu dokonywano 10 pomiarów dla każdej próbki. Wszystkie wyniki zestawiono w tabelach poniżej (tab. 7–12), podając wartości w milimetrach. Dodatkowo dla pergaminów nieustabilizowanych rejestrowano stopień odchylenia od płaszczyzny. Pomiaru dokonano w czterech punktach (miejscach zbiegu krawędzi), odpowiadających narożnikom A, B, C, D (rys. 10). Wartości podane w milimetrach prezentuje tab. 13.



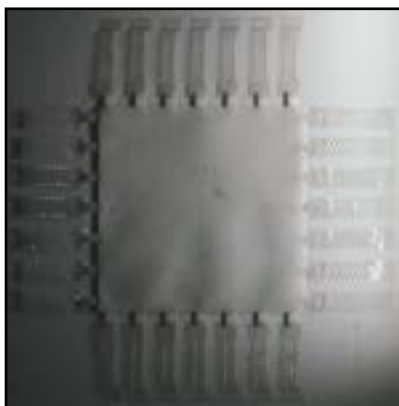
Rys. 10.
Punkty pomiaru stopnia odchylenia
od płaszczyzny



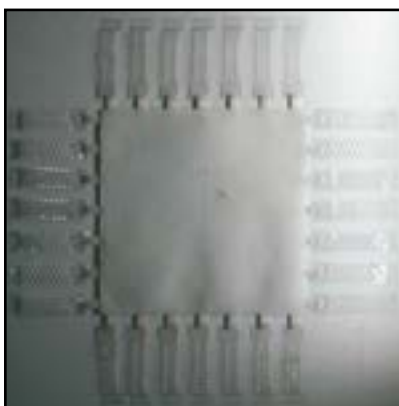
Fot. 1.
Próbka BS_w świetle bocznym-RH65%



Fot. 2.
Próbka BS_w świetle bocznym-RH20%



Fot. 3.
Próbka BL_w świetle bocznym-RH65%



Fot. 4.
Próbka BL_w świetle bocznym-RH20%

Tabela 7. Rejestracja zmian wymiarów liniowych w czasie zmiennych warunków RH.
Wyniki (podane w mm) pomiarów dla próbki AS

Nr	Pomiar mm (aa'-x,AA'-y)	-	50%	35%	20%	50%	65%	80%	50%
PRÓBKA 1-AS									
1.	aa'	200	201	200,5	200,5	201,5	202	203	201
2.	bb'	200	201,5	201	201	202	202,5	203	201,5
3.	cc'	200	202	201,5	201,5	202	203	204	202
4.	dd'	200	202	201,5	201,5	202	203,5	204	202
5.	ee'	200	201,5	202	202	202	203	204	203
6.	AA'	200	200	200	200	201	201,5	202	200,5
7.	BB'	200	200	200	200	201	201,5	202	200,5
8.	CC'	200	200,5	200,5	200,5	201	202	202	201
9.	DD'	200	201	200,5	200,5	201	202,5	203	201,5
10.	EE'	200	201	201	201	201	202	203	202
Średnia arytmetyczna		200,00	201,05	200,85	200,85	201,45	202,35	203,00	201,50
Odchylenie standardowe		0,00	0,72	0,67	0,67	0,50	0,67	0,82	0,78
Współczynnik zmienności		0,00%	0,36%	0,33%	0,33%	0,25%	0,33%	0,40%	0,39%

Tabela 8. Rejestracja zmian wymiarów liniowych w czasie zmiennych warunków RH.
Wyniki (podane w mm) pomiarów dla próbki BS

Nr	Pomiar mm (aa'-x, AA'-y)	-	50%	35%	20%	50%	65%	80%	50%
PRÓBKA 2-BS									
1.	aa'	200	201	200,5	200	201	202	203	202
2.	bb'	200	201	200,5	200	201	202,5	203	202
3.	cc'	200	200,5	200,5	200	201	202,5	202,5	202
4.	dd'	200	200,5	200,5	200	201	202	203	202
5.	ee'	200	201	200,5	200	201,5	202,5	203,5	202
6.	AA'	200	201	200	200	200,5	201,5	202	201
7.	BB'	200	201	200	200	200,5	201,5	201,5	201
8.	CC'	200	201	200	200	200,5	201,5	202	201
9.	DD'	200	201	200,5	200	200,5	202	202	201
10.	EE'	200	201	200	200	200,5	202	202	201
	Średnia arytmetyczna	200,00	200,90	200,30	200,00	200,80	202,00	202,45	201,50
	Odchylenie standardowe	0,00	0,21	0,26	0,00	0,35	0,41	0,64	0,53
	Współczynnik zmienności	0,00%	0,10%	0,13%	0,00%	0,17%	0,20%	0,32%	0,26%

Tabela 9. Rejestracja zmian wymiarów liniowych w czasie zmiennych warunków RH.
 Wyniki pomiarów dla próbki CS

Nr	Pomiar mm (aa'-x, AA'-y)	-	50%	35%	20%	50%	65%	80%	50%
PRÓBKA 3-CS									
1.	aa'	200	201	201	200,5	202	202,5	204	202
2.	bb'	200	201,5	201	200,5	202	203	204	201,5
3.	cc'	200	201	201	200,5	202	202,5	204	202
4.	dd'	200	201,5	201	200,5	202	202,5	204,5	202
5.	ee'	200	201,5	201	200,5	202	203	204	202
6.	AA'	200	200	200,5	200	201	202	202	202
7.	BB'	200	201,5	200,5	200	201,5	201,5	202	202
8.	CC'	200	201,5	200,5	200	201,5	202	202	201,5
9.	DD'	200	201	200,5	200	201,5	202	202	201,5
10.	EE'	200	201	200,5	200	201,5	202	202,5	201,5
	Średnia arytmetyczna	200,00	201,15	200,75	200,25	201,70	202,30	203,10	201,80
	Odchylenie standardowe	0,00	0,47	0,26	0,26	0,35	0,48	1,07	0,26
	Współczynnik zmienności	0,00%	0,24%	0,13%	0,13%	0,17%	0,24%	0,53%	0,13%

Tabela 10. Rejestracja zmian wymiarów liniowych w czasie zmiennych warunków RH.
Wyniki (podane w mm) pomiarów dla próbki AL

Nr	Pomiar mm (aa'-x, AA'-y)	-	50%	35%	20%	50%	65%	80%	50%
PRÓBKA 4-AL									
1.	aa'	200	200,5	200	200	201,5	201,5	202	201,5
2.	bb'	200	201	200,5	200	201	202	202,5	202
3.	cc'	200	200,5	200	200	201	202	202,5	201,5
4.	dd'	200	201	200,5	200,5	201,5	202	202,5	202
5.	ee'	200	200,5	201	200,5	201	202	202	201,5
6.	AA'	200	202	201,5	201	202	203	204	202,5
7.	BB'	200	201,5	201,5	201	202	203	204	202,5
8.	CC'	200	201,5	201,5	201	202	203	204	202,5
9.	DD'	200	201,5	201,5	201	202	203	203,5	202
10.	EE'	200	201	201,5	201	201,5	202	202,5	202
Średnia arytmetyczna		200,00	201,10	200,95	200,60	201,55	202,35	202,95	202,00
Odchylenie standardowe		0,00	0,52	0,64	0,46	0,44	0,58	0,83	0,41
Współczynnik zmienności		0,00%	0,26%	0,32%	0,23%	0,22%	0,29%	0,41%	0,20%

Tabela 11. Rejestracja zmian wymiarów liniowych w czasie zmiennych warunków RH.
Wyniki (podane w mm) pomiarów dla próbki BL

Nr	Pomiar mm (aa'-x, AA'-y)	-	50%	35%	20%	50%	65%	80%	50%
PRÓBKA 5-BL									
1.	aa'	200	201	201	200	201,5	202	203	202
2.	bb'	200	201,5	201	200,5	201,5	202,5	203	202
3.	cc'	200	201	201	200,5	201,5	202,5	203	201,5
4.	dd'	200	201	201	200,5	202	202,5	203	202
5.	ee'	200	201	201,5	201	202,5	202	203,5	202
6.	AA'	200	201,5	200,5	200	201,5	201,5	202,5	201
7.	BB'	200	202	200,5	200,5	201	202	203,5	201
8.	CC'	200	201,5	200,5	200,5	202	202	204	201,5
9.	DD'	200	202	201	200,5	202,5	203	204	202
10.	EE'	200	202	201	200,5	202,5	203	204	202,5
Średnia arytmetyczna		200,00	201,45	200,90	200,45	201,85	202,30	203,35	201,75
Odchylenie standardowe		0,00	0,44	0,32	0,28	0,53	0,48	0,53	0,49
Współczynnik zmienności		0,00%	0,22%	0,16%	0,14%	0,26%	0,24%	0,26%	0,24%

Tabela 12. Rejestracja zmian wymiarów liniowych w czasie zmiennych warunków RH.
Wyniki (podane w mm) pomiarów dla próbki CL

Nr	Pomiar mm (aa'-x, AA'-y)	-	50%	35%	20%	50%	65%	80%	50%
PRÓBKA 6-CL									
1.	aa'	199	200	200	199,5	201	201,5	202	201,5
2.	bb'	200	200	200	199,5	201	201,5	202,5	201
3.	cc'	200	200,5	200	200	201,5	202	203	201,5
4.	dd'	200	200,5	200,5	200	201,5	202,5	203	201,5
5.	ee'	200	201	200,5	200	201,5	203	203,5	202
6.	AA'	200	200	200	199,5	201,5	201,5	202	201,5
7.	BB'	200	200	200	200	200,5	201	201,5	200,5
8.	CC'	200	201	200	200	201	201,5	202	200,5
9.	DD'	200	200,5	200	200	201	201,5	202	201
10.	EE'	200	200,5	200	200	201	202	202	201
Średnia arytmetyczna		199,90	200,40	200,10	199,85	201,15	201,80	202,35	201,20
Odchylenie standardowe		0,32	0,39	0,21	0,24	0,34	0,59	0,63	0,48
Współczynnik zmienności		0,16%	0,20%	0,11%	0,12%	0,17%	0,29%	0,31%	0,24%

Tabela 13. Stopień odchylenia narożników luźnych arkuszy pergaminów względem płaszczyzny podany w mm

Wysokość – odchylenie w narożnikach od płaszczyzny [mm]								
	-	50%	35%	20%	50%	65%	80%	50%
AL								
A	-	30	31	33	32	20	16	21
B	-	0	3	1	8	6	8	2
C	-	30	30	27	28	12	3	8
D	-	0	2	1	3	2,5	2	1,5
AS								
A	-	10	11	4	15	8	3	1
B	-	14	12	7	14	14	14	6
C	-	15	15	14	17	15	5	1
D	-	16	14	5	16	11	7,5	0

Omówienie wyników i wnioski z badań etapu III

Etap III zaprojektowanych badań reprezentuje zasadniczą część projektu. Stanowi bowiem punkt odniesienia do oceny skuteczności elastycznego montażu za pomocą sprężynujących pasków poliestrowych.

W odpowiedzi na określone założenie, próbki poddano sezonowaniu w zmienionych warunkach wilgotności względnej ze względu na wysoce higroskopijny charakter pergaminu i wynikające z tego problemy związane z ekspozycją czy przechowywaniem. Koncepcja obniżania wilgotności w pierwszej połowie cyklu, a następnie stopniowy jej wzrost, została podyktowana potrzebą uzyskania dwóch skrajnie różnych środowisk.

Symulacja sytuacji gwałtownych zmian otoczenia miała na celu zobrazowanie wzajemnej relacji mobilnych pasków montażowych, w odpowiedzi na

niemożliwe do przewidzenia ruchy pergaminu. Ponadto realna stała się ocena wytrzymałości wytypowanej wcześniej spoiny oraz rodzaju papieru w konfrontacji z ruchomymi elementami: paskiem montażu i obiektem. Cykl zmian w pewnym stopniu miał także odzwierciedlać zmienne warunki w środowiskach muzealnych, archiwalnych czy bibliotecznych. Nie wszystkie bowiem instytucje mają możliwość zapewnienia stabilnych warunków przechowywania i ekspozycji obiektów.

Zmiany wymiarów liniowych, jakie następowały podczas całego cyklu dla wszystkich modeli, przedstawiono w tabelach (tab. 7–13). Próbkę pergaminów niestabilizowanych (próbki „o”, bez montażu) AS oraz AL wykazały większe zmiany wymiarowe w porównaniu z arkuszami ustabilizowanymi. Skala tych zmian jest różna. Arkusz AS w porównaniu z AL prezentuje wyższe wartości, dodatkowo spośród wszystkich wyróżnia go największa podatność na zmienne warunki wilgotnościowe. Pergaminy BS i CS, mimo stabilizacji, reagowały w inny sposób. Wartości współczynnika zmienności dla montażu typu II (CS) są równe lub większe w stosunku do typu I (BS). W obu przypadkach zmiany wymiarowe są mniejsze niż dla AS, zmienne w typie I stanowią niemal połowę tych wartości, natomiast w typie II – 2/3. Pergaminy *spine* prezentują się następująco: najniższe wyniki uzyskano dla montażu I, kolejno – montażu II i luźnego arkusza.

W zestawie próbek z obszaru partii nóg i części bocznej skóry zwierzęcia *leg* (AL, BL, CL) odnotowano mniejsze różnice w stosunku do materiału z części grzbietowej. Podobnie jak w pierwszym zestawie próbka AL osiągnęła najwyższe wartości. Nieco niższe zmienne prezentują pergaminy BL i CL. W tych dwóch przypadkach współczynnik zmienności jest mniejszy, równy lub większy dla poszczególnych, odpowiadających sobie odcinków. Uogólniając, zmiany jakie następowały w czasie całego cyklu są praktycznie równe, a różnica między nimi wynosi zaledwie 0,1%. Dla pergaminów CL oraz CS wartość zmian jest zaś taka sama.

Ponadto, wszystkie ustabilizowane arkusze pozostały płaskie. Arkusze niestabilizowane posiadały natomiast tendencję do zwijania się w warunkach niskiej wilgotności (maksymalna wartość odchylenia od płaszczyzny wynosiła

33 mm dla arkusza AL w 20% RH). W większości przypadków zaobserwowano skłonność do rolowania się pergaminów po przekątnej. Natomiast w podwyższonym RH próbki ulegały nieregularnym odkształceniom. Rejestrowane wartości oscyływały w przedziale od 2 do 20 mm (tab. 13).

Mieszanka kłajstru i karuku zapewniła mocną, trwałą i elastyczną spoinę, nie powodując na pergaminie widocznych szkód w postaci deformacji, sztywności czy przebarwień. Podobnie papier, mimo higroskopijnego charakteru, zachował swoją stabilność i nośność. W żadnym przypadku nie nastąpiło zerwanie się ani odspojenie papierowego zawiasu w miejscu łączenia z pergaminem.

Na podstawie analizy uzyskanych wyników, metodę elastycznego montażu pojedynczych arkuszy pergaminu z uwzględnieniem konkretnego rodzaju spoiwa oraz papieru, należy uznać za skuteczną i bezpieczną. Bufor w postaci rozprężającego się i kurczącego paska poliestru z powodzeniem kompensuje i minimalizuje nierównomierne ruchy pergaminu, zapewniając stabilne podparcie na całej jego powierzchni. Gwarancją tego jest zamocowanie maksymalnej liczby zawiasów w obrębie obiektu ze zwróceniem szczególnej uwagi na narożniki, które są najbardziej narażone na odkształcenia w czasie wahań warunków otoczenia. Badania wykazały także większą skuteczność metody w przypadku montażu typu I. Paski montażowe rozłożone równomiernie i płasko na całej powierzchni lepiej przenoszą siły, niżeli te zawinięte na odwrocie.

Należy jednak pamiętać, że badania wykonano na nowym, współcześnie wytwarzanym pergaminie, który jest grubszy w stosunku do historycznego materiału oraz może różnić się procesami obróbki w czasie produkcji, co determinuje jego charakter²⁵.

Jednakże, zarówno współczesne, jak i zabytkowe pergaminy charakteryzuje wrażliwość na zmienne warunki wilgotnościowe. Mimo iż zależy ona od wielu czynników, obiekty tego rodzaju powinny podlegać stabilizacji odpowiedniej dla ich stanu i charakteru.

25 G. L. Gonzalez i in., *Effects of hydration...*, wyd. cyt., s. 57.

Dyskusja i konkluzje

Pierwsza publikacja dotycząca opisywanej metody pojawiła się w 1993 roku w Victoria&Albert Museum. Tam narodziła się wówczas koncepcja nie tylko zawiasów, które miały na celu kompensowanie wszelkich zmian wymiarowych w obiektach pergaminowych, ale także całego modułu mocującego obiekt. Projekt ten miał jednak charakter eksperymentalny²⁶. W roku 2015 konserwatorzy tegoż muzeum przeprowadzili badania i poddali ocenie efektywność pasków poliestrowych, skrobi, żelatyny oraz papierowych zawiasów w zmiennych warunkach środowiskowych. Projekt uzyskał pozytywną opinię i z powodzeniem został zastosowany w czasie konserwacji dwóch zabytków pergaminowych z tamtejszej kolekcji²⁷. W kontekście tych doświadczeń montaż elastyczny wykorzystano jeszcze w dwóch innych projektach: w 2016²⁸ oraz w 2018²⁹ roku. W każdym przypadku uzyskano zadowalające, a przede wszystkim skuteczne i bezpieczne dla obiektu efekty. Nie odniesiono się jednak jednoznacznie do spoiwa oraz papierowego zawiasu. Stało się to pretekstem – wykorzystując dostępną literaturę – do usystematyzowania wiedzy oraz poszerzenia jej o własne obserwacje i wnioski na podstawie przeprowadzonych badań. Impulsem do podjęcia tematu była jednocześnie realizowana w ramach pracy dyplomowej konserwacja pastelu na pergaminie oraz konieczność opracowania optymalnej metody jego montażu.

Pergamin jest bardzo złożonym i różnorodnym materiałem. Przeprowadzone przez nas badania pokazały, że tożsame próbki w jednakowych warunkach zachowują się różnie. Tym bardziej zachowanie historycznych pergaminów, poddanych niejednakowym procesom produkcji i znajdujących się w różnym

26 D. Norman, *The mounting of single leaf parchment & vellum objects...*, wyd. cyt.

27 N. Duqueyroix i in., *Expandable Polyester Hinges...*, wyd. cyt., s. 18–26.

28 G. Lemee, *Mountings for Parchment*, PZ Conservation blog, 2016, [online:] <http://www.pzconservation.org.uk/2015/05/mountings-for-parchment.html> [dostęp: 07.07.22].

29 E. D'Alessandro, *Using Expandable Polyester Hinges...*, wyd. cyt.

stanie zachowania, może być trudne do przewidzenia. Właśnie z tego powodu elastyczny montaż zdaje się odpowiadać swoistym potrzebom pergaminu. Mobilność pasków poliestrowych, równoważąc zachodzące naprężenia, pozwala na ruch kolagenowego materiału na małych odcinkach.

Ponadto, montaż poprzez nieznaczne rozprężenie pasków nie tylko stabilizuje powierzchnię pergaminu, ale także zapewnia pewien bufor, który w razie potrzeby skurczy się bądź napręży. Ruchy elastycznych pasków zabezpieczają obiekt przed ewentualnymi, niekontrolowanymi deformacjami o różnym charakterze, które mogą następować w wyniku gwałtownych zmian warunków otoczenia. Sprężynujące właściwości montażu pozwolą uchronić artefakt przed silnymi odkształceniami w przypadku wzrostu wilgotności względnej, natomiast w odwrotnej sytuacji zapobiegną jego przedarciu czy pęknięciu. Dodatkowo, wykorzystane w montażu atestowane materiały tworzą lekką konstrukcję.

Przedstawiony sposób montażu spełnia swoje zasadnicze funkcje, posiada jednak także pewne wady i ograniczenia. Przed wszystkim, każdy pojedynczy element montażu wymaga osobnego przygotowania. Począwszy od zakupu poliestru i wycięcia pasków, poprzez przygotowanie papierowych zawiasów i naniesienie na nie kleju, następnie złożenie ze sobą poszczególnych części aż po ostateczny montaż pergaminowego obiektu. Niewątpliwie, metoda jest czasochłonna i pracochłonna. Dodatkowo, usytuowanie pasków w tej samej płaszczyźnie, co obiekt, zwiększa jego wymiary zewnętrzne. To z kolei wymaga skonstruowania specjalnej ramy zabezpieczającej eksponat, uwzględniającej całą konstrukcję montażu. Tak spotęgowane gabaryty dzieła mogą być problematyczne w przypadku ograniczonej przestrzeni do przechowywania czy eksponowania większej liczby zabytków.

W powyższym badaniu, adaptacji i ewaluacji poddano wytypowane rozwiązanie, które dla przyjętych parametrów okazało się w pełni skuteczne. Należy jednak zwrócić uwagę, że w przypadku montażu pojedynczych arkuszy pergaminu, należy każdorazowo indywidualnie rozpatrywać sposób montażu, uwzględniając wiele aspektów obejmujących fizyczne cechy materiału, stan zachowania, funkcję obiektu itp. Opracowanie prezentuje spektrum spoiw i materiałów

w kontekście własności wytrzymałościowych, co daje możliwość skorelowania ich z potrzebami montowanego obiektu. Wybór odpowiedniej kombinacji składowych układu (w tym także grubości folii sprężynujących pasków) zapewni dziełu stabilizację i ochroni przed niepożądanymi deformacjami bądź wręcz rozerwaniem struktury pergaminu.

Uzyskane wyniki stanowią wkład oraz poszerzają wiedzę dotyczącą zagadnienia montażu specyficznych obiektów. Dowodzą skuteczności proponowanego rozwiązania i jednocześnie dają impuls do dalszych badań w tym obszarze. Przykładem jest przeprowadzony ostatnio projekt badawczy, w którym zmodyfikowano metodę pomiaru odkształceń poprzez użycie nieniszczącej i bezkontaktowej techniki cyfrowej korelacji obrazu (DIC), umożliwiającej wielowymiarowe monitorowanie zmian³⁰. Innym ciekawym aspektem badawczym byłaby próba skorelowania odkształceń pergaminu z elastyczną pracą paska.

Reasumując, należy stwierdzić, że elastyczny montaż pergaminu stanowi dobre rozwiązanie do stabilizacji pojedynczych arkuszy pergaminu. Zwłaszcza w przypadku materiałów zabytkowych, dla których trudno przewidzieć zakres zmian wymiarów i deformacji w momencie fluktuacji warunków wilgotnościowych otoczenia.

Czynnikami warunkującymi skuteczność omawianej metody jest rozważny dobór materiałów oraz indywidualne podejście do zabytku i jego stanu zachowania. Nie bez znaczenia pozostaje liczba zastosowanych pasków stabilizujących obiekt oraz grubość poliestru, z którego zostały wykonane. Im większa jest ich liczba, tym lepsze, równomierne napięcie pergaminu. Grubość folii warunkuje z kolei stopień jej rozprężania. Rekomendowanymi materiałami będą gęsty kłajster pszenny, który poddano badaniom w zmiennym środowisku w zakresie od 9% do 75% RH³¹ oraz mieszanka kłajstru pszennego z karukiem.

30 A. Papanikolaou, D. Dzik-Kruszelnicka, M. Kujawinska, *Spatio-temporal monitoring of humidity induced 3D displacements and strains in mounted and unmounted parchments*, „Heritage Science” 2022, nr 15, <https://doi.org/10.1186/s40494-022-00648-y> [dostęp: 07.07.22].

31 N. Duqueyroix i in., *Expandable Polyester Hinges...*, wyd. cyt., s. 26.

Jej trwałość sprawdzono w zakresach od 20% do 80% RH³². Papierowy zawias powinien zostać wykonany z mocnego, długowłóknistego papieru japońskiego o gramaturze min. 19 g/m²³³.

Przedstawiony w omawianej pracy materiał nie wyczerpuje podjętej problematyki badawczej. Metoda wymaga badań na przykład dla pergaminów z iluminowaną warstwą malarską. Wyniki pozwoliłyby ocenić bezpieczeństwo i wpływ ruchomych elementów montażu na warstwy farby czy złocień³⁴. Bez wątpienia ciekawym dopełnieniem byłoby także przeprowadzenie badań określających skuteczność i efektywność pasków poliestrowych o niestandardowych wymiarach, innych niż zaprezentowane w powyższej pracy. Opracowanie zależności między wielkością obszaru sprężynującego a rozmiarem pergaminu pomogłoby ograniczyć zwiększanie marginesów wokół eksponatu, szczególnie w przypadku małych formatów. Każde kolejne doświadczenie w tym obszarze pozwoliłoby na ustandaryzowanie metody i jej upowszechnienie.

Zaprezentowane badania³⁵ metody elastycznego montażu stanowiły część pracy dyplomowej zrealizowanej na Wydziale Konserwacji i Restauracji Dzieł Sztuki na Akademii Sztuk Pięknych w Warszawie pod kierunkiem prof., dr hab. Marzeny Ciechańskiej oraz st. wykł., mgr Grażyny Macander-Majkowskiej. Omówiony w niniejszej pracy sposób ekspozycji dla pojedynczych arkuszy pergaminu z wykorzystaniem materiałów wytypowanych w trakcie badań został zaadaptowany dla pastelu wykonanego na pergaminie *Portret braci Hermana i Roberta von Alvensleben*³⁶ (fot. 5–6) z kolekcji Muzeum Zamkowego w Pszczynie o numerze

³² Wg badań własnych.

³³ Takiego papieru użyto w czasie eksperymentów W&A Muzeum, uzyskując zadowalające efekty.

³⁴ N. Duqueyroi i in., *Expandable Polyester Hinges...*, wyd. cyt., s. 26.

³⁵ Zadanie badawcze zostało sfinansowane ze środków na szkolnictwo wyższe i naukę Akademii Sztuk Pięknych w Warszawie 2019–2020 „Problematyka ekspozycji obiektów”, kierownik Dorota Dzik-Kruszelnicka [WK/Dorota Dzik-Kruszelnicka, młody naukowiec, 2020].

³⁶ A. Kukuczka-Szarzec, *Dokumentacja projektu i prac konserwatorskich i restauratorskich. Konserwacja i restauracja pastelu na pergaminie: „Portret braci Hermana i Roberta von Alvenslebenów” początek XIX w., autor nieznanany. Własność Muzeum Zamkowego w Pszczynie, Syg. MP/S/3289, Warszawa 2021, niepublikowany komputeropis.*

inwentarza MP/S/3289. Badania umożliwią w przyszłości określenie skuteczności rozwiązania dla pergaminu z warstwą malarską w postaci suchego pastelu.



Fot. 5.
„Portret braci Hermana i Roberta von Alvensleben”,
nr inw. MPS3289, stan przed konserwacją



Fot. 6.
„Portret braci Hermana i Roberta
von Alvensleben”, nr inw. MPS3289,
stan po konserwacji z wykorzysta-
niem elastycznego montażu

Bibliografia i netografia

- Axelsson Kathleen Mühlen, Larsen René, Sommer Dorte V. P., Melin Rikke, *Degradation of collagen in parchment under the influence of heat-induced oxidation: Preliminary study of changes at macroscopic, microscopic, and molecular levels*, „Studies in Conservation” 2016, vol. 61, wyd. 1, s. 1–12.
- Badea Elena, Della Gatta Giuseppe, Usacheva Tatiana, *Effects of temperature and relative humidity on fibrillar collagen within parchment: a micro Differential Scanning Calorimetry (micro DSC) study*. *Polymer Degradation and Stability*, https://www.researchgate.net/publication/224862210_Effects_of_temperature_and_relative_humidity_on_fibrillar_collagen_within_parchment_a_micro_Differential_Scanning_Calorimetry_micro_DSC_study [dostęp: 07.07.2022].
- D’Alessandro Erica, *Using Expandable Polyester Hinges to Mount a Double-sided Parchment Folio*, PZ Conservation blog, 2018, <http://www.pzconservation.org.uk/2018/05/using-expandable-polyester-hinges-to.html> [dostęp: 07.07.2022].
- Dernovšková Jana, Jirasová Hana, Zelinger Jiří, *An investigation of the hygroscopicity of parchment subjected to different treatments*, „Restaurator” 1995, nr 16, s. 31–44, <https://doi.org/10.1515/rest.1995.16.1.31> [dostęp: 07.07.2022].
- Duqueyrox Nadège, Robinet Laurianne, Barbe Coralie, *Expandable Polyester Hinges for Parchment Mounting Performance in Fluctuating Environmental Conditions*, „Journal of Paper Conservation” 2015, vol. 16, nr 1, s. 18–26.
- Gonzalez Grant Lee, Wess Timothy James, *Effects of hydration on the collagen and gelatine phases within parchment artefacts*, „Heritage Science” 2013, vol. 1, nr 14, s. 2–8.
- Haines Betty M., *Parchment: The physical and chemical characteristics of parchment and the materials used in its conservation*, The Leather Conservation Center 1999, s. 1–33.
- Hansen Eric F., Lee Steve N., Sobel H., *The Effects of Relative Humidity on Some Physical Properties of Modern Vellum: Implications for the Optimum Relative Humidity for the Display and Storage of Parchment*, „Journal of the American Institute for Conservation” 1991, vol. 31, nr 3, s. 325–342.
- Kern Marie Sarah, Pataki-Hundt Andrea, Wouters Jan, Kirby Daniel, *Accelerated Aging of Parchment: Investigation of Photo Catalysed, Low-Heat Approach*, „Restaurator” 2018, nr 39, s. 33–70.

- Kukuczka-Szarzec Aneta, *Dokumentacja projektu i prac konserwatorskich i restauratorskich. Konserwacja i restauracja pastelu na pergaminie: „Portret braci Hermana i Roberta von Alvenslebenów” początek XIX w., autor nieznany Własność Muzeum Zamkowego w Pszczynie, Sygn. MP/S/3289, Warszawa 2021 (nkps.).*
- Lemeé Gwendoline, *Mountings for Parchment*, PZ Conservation blog, 2016, <http://www.pzconservation.org.uk/2015/05/mountings-for-parchment.html> [dostęp: 07.07.2022].
- Liszewska Weronika, *Konserwacja zabytkowych pergaminów, Nowe metody uzupełniania ubytków z użyciem włókien kolagenowych*, Akademia Sztuk Pięknych w Warszawie, Warszawa 2012.
- Liszewska Weronika, *New methods of leafcasting in the conservation of historic parchments*, Polski Instytut Studiów nad Sztuką Świata, Warszawa 2017.
- Liszewska Weronika, *Papier japoński jako materiał w konserwacji dzieł sztuki*, „Ochrona Zabytków” 1998, nr 3, s. 266-272, [http://bazhum.muzhp.pl/media//files/Ochrona_Zabytkow/Ochrona_Zabytkow-r1998-t51-n3_\(202\)/Ochrona_Zabytkow-r1998-t51-n3_\(202\)-s266-272/Ochrona_Zabytkow-r1998-t51-n3_\(202\)-s266-272.pdf](http://bazhum.muzhp.pl/media//files/Ochrona_Zabytkow/Ochrona_Zabytkow-r1998-t51-n3_(202)/Ochrona_Zabytkow-r1998-t51-n3_(202)-s266-272/Ochrona_Zabytkow-r1998-t51-n3_(202)-s266-272.pdf) [dostęp: 07.07.2022].
- Norman Daniel, *The mounting of single leaf parchment & vellum objects for display and storage*, „Conservation Journal” 1993, nr 9, <http://www.vam.ac.uk/content/journals/conservation-journal/issue-09/the-mounting-of-single-leaf-parchment-and-vellum-objects-for-display-and-storage/> [dostęp: 07.07.2022].
- Papanikolaou Athanasia, Dzik-Kruszelnicka Dorota, Kujawinska Małgorzata, *Spatio-temporal monitoring of humidity induced 3D displacements and strains in mounted and unmounted parchments*, „Heritage Science” 2022, nr 15, <https://doi.org/10.1186/s40494-022-00648-y> [dostęp: 07.07.2022].
- Popescu Carmen Mihaela, Hill Callum A. S., Kennedy Craig, *Variation in the sorption properties of historic parchment evaluated by dynamic water vapour sorption*, „Journal of Cultural Heritage” 2016, vol. 17, s. 87-94.
- Vest Marie, Jacobsen Judith, Larsen René, *Accelerated Aging: Effect of heat and relative humidity, Improved Damage Assessment of Parchment – Assessment, Data Collection and Sharing of Knowledge (IDAP)*, ed. R. Larsen, Luxemburg 2007.