Aleksandra Trochimowicz

konserwator dzieł sztuki

art conservator

Wpływ parkietaży na odkształcenia podobrazi drewnianych i stan zachowania warstw malarskich¹

The influence of cradle on the deformation of panel painting and condition of paint layer¹

Abstrakt

Parkietaż – drewniana konstrukcja przymocowana do odwrocia obrazu, zapobiegająca ruchom desek podłoża – został wypracowany w toku kilkusetletniej praktyki stolarzy i artystów i wydawał się odpowiednią metodą stabilizacji podłoża malarskiego. Obecnie jednak zauważa się jego negatywny wpływ - hamuje on pracę podłoża obrazu, co skutkuje pękaniem i odkształceniami drewnianych tablic oraz uszkodzeniami warstwy malarskiej. Określenie tego wpływu ma istotne znaczenie dla skutecznej konserwacji obrazów z parkietażem. Do badań wytypowano 53 obrazy zabytkowe z parkietażem. Określono stan ich zachowania oraz warunki przechowywania. Następnie za pomocą skanera optycznego zmierzono odkształcenia 10 możliwie jednorodnych obrazów oraz tablic modelowych, wykonanych na wzór tablic zabytkowych, przed i po zabiegu postarzania mikroklimatycznego, oddającego warunki przechowywania obiektów zabytkowych. Uzyskane wyniki potwierdziły skuteczność parkietaży. Po ich założeniu tablice powracały do swojego pierwotnego kształtu, z biegiem czasu ulegały jednak postępującej destrukcji. Rezultaty badania pozwoliły na sformułowanie zaleceń konserwatorskich dla obrazów z parkietażem.

Słowa kluczowe: podobrazie drewniane, parkietaż, zmiany wymiarowe drewna, bezstykowe metody pomiaru

O POŁOWY XVIII WIEKU POPULARNĄ METODĄ pozwalającą na utrzymanie płaskiej powierzchni obrazów tablicowych było zakładanie od strony odwroci konstrukcji stabilizujących – parkietaży². Obecnie w zbiorach muzealnych na całym świecie znajdują się tysiące obrazów poddanych w przeszłości takiemu zabiegowi³, którego skutki – mniej lub bardziej negatywne – zależne są od warunków przechowywania⁴. Charakterystyczne dla obrazów z parkietażami jest pofalowanie powierzchni w poprzek włókien⁵. Zastosowanie skanera optycznego do

Abstract

Cradle - a wooden structure, fixed to a reverse of a painting and preventing unwanted movement of wooden panels - has been developed in the course of many centuries' work of carpenters and artists. As such, it seemed an appropriate method of stabilising the painting support. In contemporary research, however, some negative impact of cradle has been noticed - it hampers the work of the support, leading to cracks and deformation of wooden panels and causing damage to the paint layer. Assessment of such impact is essential for effective preservation of cradled paintings. 53 historic cradled paintings were selected for a research project. Their preservation status and storage conditions were defined first. Subsequently, using an optical scanner, distortion levels of 10 possibly uniform works were measured, along with model panels - based on original panels - before and after the process of microclimatic ageing which reflected the storage conditions of historic paintings. The research results confirmed the effectiveness of a cradle. After applying a cradle, the panels would return to their original shapes, although they also underwent gradual destruction over time. The results allowed to formulate a set of art-preservation recommendations applying to cradled works.

Keywords: wooden support, cradle, dimensional changes of wood, contactless measurement methods

S ETTING A STABILISING STRUCTURE – A CRADLE – on the reverse of a painting, was a popular method to secure a flat surface of panel paintings, used since mid-18th century². Thousands of painting works that had been subject to such an operation³ are now stored in the museums all over the world. The effects of cradling – more or less negative – depend on particular storage conditions⁴. A distinctive feature of cradled works is a surface undulation going across fibres⁵. Using an optical scanner for surface measurement allows to assess actual deformation of historic works of art. pomiarów powierzchni pozwala na określenie faktycznych deformacji obiektów zabytkowych.

Pomimo powszechności tego zagadnienia, długo nie doczekało się ono całościowego opracowania. Mechanizmy powstawania zniekształceń i zniszczeń obrazów z parkietażami badali w 1997 roku Brewer i Forno na Uniwersytecie w Cambridge, w Hamilton Kerr Institute⁶. Mierzyli powierzchnię modeli tablic z parkietażem poddanych zmiennym warunkom wilgotnościowym za pomocą prążków moiré, ustalając przyczyny zniszczeń. Badania nie obejmowały jednak pomiarów obiektów zabytkowych.

Celem moich badań była analiza i ocena wpływu konstrukcji parkietaży na odkształcenia podobrazi drewnianych i stan zachowania warstwy malarskiej. Za odkształcenia podobrazi drewnianych uznawane są wszelkie deformacje płaszczyzny tablicy obrazu (odstępstwa od jej płaskości), natomiast stan zachowania warstwy malarskiej jest oceniany na podstawie obecności uszkodzeń mechanicznych w postaci pęknięć podłoża oraz złuszczeń i ubytków zaprawy i warstwy malarskiej. Badania obejmowały kwerendę w literaturze i wyjazdy terenowe służące zebraniu informacji na temat obecności podobrazi drewnianych z parkietażami w wybranych zbiorach muzealnych w Polsce. Na tej podstawie określono istotność zagadnienia i wybrano obiekty do badań.

Wytypowano 53 obrazy o różnych wymiarach tablic drewnianych, z różnego rodzaju parkietażami. Dzieła te stanowiły możliwie szeroką reprezentację spotykanych w kolekcjach przypadków⁷. Obiekty pochodziły z Muzeum Narodowego w Warszawie i Zamku Królewskiego w Warszawie. Badania obejmowały: wykonanie fotografii obrazów, ocenę i opis stanu zachowania obiektów, analizę budowy podłoży malarskich i konstrukcji parkietażowych oraz identyfikację rodzajów drewna zarówno podobrazi, jak i konstrukcji, a także analizę warunków ich przechowywania (parametrów mikroklimatu). Na podstawie uzyskanych danych wybrano 10 obiektów możliwie jednorodnych technologicznie i o podobnych wymiarach do dokładnych badań odkształceń przy użyciu skanera optycznego⁸. Wyniki pomiarów obiektów zabytkowych porównano z pomiarami powierzchni modeli podobrazi⁹, które poddano zmiennym cyklom klimatycznym według schematu powstałego na podstawie analizy klimatu w miejscu

Despite the well-known nature of the problem, it has long been deprived of a decisive overall study. Mechanisms of deformation and damage applying to cradled paintings were studied by Brewer and Forno in 1997 (Hamilton Kerr Institute at Cambridge University)⁶. They measured surfaces of cradled model panels using a moiré pattern, upon subjecting them to variable humidity conditions, while aiming to specify the reasons of damage. However, the study did not include measurements of actual historic works of art.

The aim of my research was to analyse and assess an impact of cradle construction on deformation of wooden support, as well as on the preservation of the paint layer. Distortion of wooden support is defined as any case of uneven surface of a panel, while the status of the paint layer is assessed on the basis of presence of mechanical faults, such as background cracks, as well as desquamation or loss of the ground and of the paint layer. The study comprised desk research and site visits aimed to gather information on the presence of cradled wooden supports in selected Polish museums. On that basis, importance of the issue was assessed and specific objects were selected for the study.

A group of 53 paintings was selected, with varying dimensions of wooden supports, with different types of cradle. Those works represented a possibly broad range of cases that can be met in museum collections7. The objects were coming from the National Museum in Warsaw and from the Royal Castle in Warsaw. The study involved: taking photographs of the works, assessment and description of their preservation status, analysis of the structure of painting bases and of cradles, identifying the species of wood both in the panels and in cradles, as well as analysing their storage conditions (micro-climate parametres). Based on the data obtained, 10 objects were selected (with possibly similar technology profiles and dimensions) for precise distortion research using an optical scanner⁸. Results of measurements were compared with surface measurement of model supports⁹, subjected to variable climatic cycles as per a model based on an analysis of the climate at the storage site of the original paintings selected for the research project.

In the course of the site visits at selected museums and art collections of Warsaw, Krakow, Lublin przechowywania oryginalnych obrazów uwzględnionych w badaniu.

W wyniku kwerendy w wybranych muzeach i kolekcjach Warszawy, Krakowa, Lublina i Wrocławia ustalono, że w zbiorach tych parkietaże ma od 5,0 do 27,7% wszystkich obrazów tablicowych. Powszechność parkietowania była związana z regionem pochodzenia obrazów – zabieg ten był bardzo popularny w Europie Zachodniej¹⁰. Nie dziwi zatem, że najliczniejszą grupę takich obrazów (z Muzeum Narodowego w Warszawie i Zamku Królewskiego w Warszawie) stanowią dzieła XVII-wieczne, pochodzące z północnej Europy. Konsekwencją takiej reprezentacji jest obecność aż 37 (69,8%) podobrazi dębowych, najbardziej popularnych w tej części kontynentu¹¹.

Ustalono, że występowały trzy rodzaje konstrukcji parkietażowych: parkietaże płaskie (69,8%), wysokie (28,3%) i klockowe (1,9%)¹². W większości przypadków parkietaże zostały wykonane z drewna miękkiego (o gęstości poniżej 600 kg/m3 w stanie powietrzno-suchym) – jest ich 67,9%¹³. Z drewna twardego wykonano 26,4% parkietaży, a 5,7% obrazów ma parkietaże z dwóch rodzajów drewna. Konstrukcje typu wysokiego są przeważnie dębowe, natomiast płaskie wykonane są z drewna sosnowego i świerkowego14. Sprawne parkietaże, czyli takie, których ruchome listwy dają się przesuwać, ma tylko 35,8% badanych obiektów. Parkietaże wysokie są mniej zawodne: 46,6% z nich jest sprawnych, natomiast spośród parkietaży płaskich – tylko 32,4%. Co istotne, sprawność konstrukcji nie wpływa na stan zachowania warstwy malarskiej. Zaobserwowano zarówno obrazy z dobrze zachowaną warstwą malarską pomimo obecności niesprawnego parkietażu na odwrociu, jak i takie, które miały sprawną konstrukcję, a były w bardzo złej kondycji. Występowały również obrazy z zablokowanym parkietażem z widocznymi deformacjami powierzchni i ubytkami warstwy malarskiej. Tylko 20,7% obrazów z parkietażem zachowanych jest w dobrym stanie – nie widać na ich powierzchni negatywnego wpływu konstrukcji parkietażowej. Większość z nich to obrazy o niewielkich wymiarach – długość żadnego z boków nie przekracza 50 cm. Wśród nich proporcja poszczególnych rodzajów konstrukcji jest zgodna z tą odnotowaną dla całej grupy 53 badanych obiektów.

and Wrocław, it was established that in those collections cradle is present in between 5.0 and 27.7% of all panel painting works. Frequency of cradling was related to the painting's region of origin – the technique was especially popular in Western Europe¹⁰. It is therefore not surprising that the most numerous group of such paintings (from the National Museum in Warsaw and the Royal Castle in Warsaw) is represented by 17th-century works coming from Northern Europe. As a consequence, as many as 37 (69.8%) of the paintings had oak-tree supports, as the most popular in that part of the continent¹¹.

It was found that there were three types of cradle structures: flat cradle (69.8%), high cradle (28.3%) and block cradle $(1.9\%)^{12}$. In the majority of cases, a cradle was made of soft wood (density below 600 kg/m³ in air-dry condition) - they represent 67.9% of the total¹³. 26.4% of cradle structures were made of hard wood, while in 5.7% of paintings cradle combines both wood types. High cradle structures are in a bigger part oak-based, while flat cradles are made of pine and spruce wood¹⁴. Efficient cradle (i.e. one with functioning moveable slats) is present in only 35.8% of objects studied. High cradle is less defective: 46.6% of these are efficient, with only 32.4% among their flat counterparts. What is important, efficiency of the structure does not impact the preservation of the paint layer. It has been observed that some works had a well-preserved paint layer despite a lack of efficient cradle, while some others had an efficient cradle structure and the painting layer in a very bad condition. Still others combined a blocked cradle with visible surface distortion and loss of the paint layer. Only 20.7% of the cradled paintings were preserved in good condition - with no negative impact of cradle visible on their surface. Most of these are works of small sizes – with no side exceeding 50 cm. Within this group, proportions among various cradle structure types are in line with that for the entire set of 53 objects under study.

In the paint layer, areas with v-shaped, protruding flakes were found, which was not directly related to the presence and shape of either efficient or inefficient cradle structures.

Over the entire measurement period available, micro-climate parameters of the National Museum Painting Storage were analysed¹⁵. From the final days W warstwie malarskiej stwierdzono występowanie obszarów z daszkowato odstającymi łuskami, niezwiązanych bezpośrednio z obecnością i układem nieruchomych bądź ruchomych listew konstrukcji parkietażowej.

Przeanalizowano parametry mikroklimatu w Magazynie Malarstwa Muzeum Narodowego w Warszawie w całym dostępnym okresie pomiarowym¹⁵. Od momentu skończenia sezonu grzewczego, tj. od kwietnia, wilgotność (ang. Realtive Humidity – RH) w całym magazynie wzrasta, osiągając maksimum w lipcu i sierpniu (wartość 60-70%), kiedy to wilgotność na zewnątrz jest również najwyższa. Pod koniec lata wilgotność powietrza spada, obniżając się jeszcze bardziej po uruchomieniu centralnego ogrzewania. Najniższe wartości osiąga w styczniu i lutym (23-40%) – wtedy, gdy w Warszawie na zewnątrz wilgotność względna również jest najniższa¹⁶. Dla skrajnych oraz średnich wartości wilgotności względnej obliczono wilgotność równoważną (Wr) drewna (tab. 1). Ekstremalne wartości wilgotności względnej powietrza zanotowane na przestrzeni okresu pomiarowego wynosiły 71% (Wr = 13,3%) i 30% (Wr = 6,2%). Maksymalna różnica wilgotności względnej wyniosła 41,1%.

Zmiany wilgotności równoważnej obiektów drewnianych można przeliczyć na wielkość zmian wymiarów drewna. Obliczenia wykonano na podstawie normy PN-EN 1313-1:2002. Przejście od najmniejszej wilgotności równoważnej do największej w Muzeum Narodowym mogło spowodować zmianę wymiarów drewna o 17 mm (wartość mierzona prostopadle do włókien drewna).

of the heating season (i.e. from April), the relative humidity (RH) keeps growing in the entire storage, reaching the maximum levels in July and August (values of 60-70%), when the outdoor humidity is at its highest as well. At the end of the summer, the air humidity gets lower, and falls even further after central heating is on. The lowest humidity levels are reached in January and February (23-40%) - when the relative humidity outdoors is lowest in Warsaw, too¹⁶. For extreme and average values of relative humidity, equilibrium moisture (EMC) of wood was calculated (tab. 1). Extreme values of relative air humidity reported over the measurement period amounted to 71% (EMC = 13.3%) and 30% (EMC = 6.2%). The maximum difference of relative humidity was 41.1%.

Changes in equilibrium moisture of wooden objects can be translated into the scale of wood dimension changes. The calculations were based on a particular industrial standard: PN-EN 1313-1:2002. The passage from the lowest to the highest equilibrium moisture at the National Museum could cause a change of wood dimensions by 17 mm (the value measured perpendicularly to the wood fibres).

Surface distortion measurement of historic paintings using an optical scanner

The highest possible number of single-technique, similar paintings was selected for the study, so that the measurement results could be subject to a more complete analysis. 10 paintings were chosen, all of similar

	Maksymalna wartość RH RH maximum value	Wilgotność równoważna drewna Equilibrium moisture of wood	Minimalna wartość RH RH minimum value	Wilgotność równoważna drewna Equilibrium moisture of wood	Średnia wartość RH RH average value	Wilgotność równoważna drewna Equilibrium moisture of wood
Magazyn Malarstwa MN National Museum Painting Storage	71%	13,3%	30%	6,2%	48%	8,9%

Tabela 1. Zestawienie parametrów mikroklimatu i odpowiadającej im wilgotności równoważnej drewna w środkowej części Magazynu Malarstwa Muzeum Narodowego, oznaczonych na podstawie wzoru amerykańskiego¹⁷

Table 1. Microclimate parametres and corresponding equivalent wood humidity in the central part of the National Museum

 Painting Storage, based on the American formula¹⁷

Pomiary skanerem optycznym odkształceń powierzchni obrazów zabytkowych

Do badań wytypowano największą możliwą liczbę obrazów jednorodnych, tak aby wyniki pomiarów można było poddać pełniejszej analizie. Wybrano 10 obrazów podobnej wielkości, najliczniej reprezentowanych w zbiorach, namalowanych na dębowych tablicach z płaskim parkietażem wykonanym z drewna sosny i świerku.

Do pomiaru powierzchni lica wybrano skaner optyczny ATOS ze względu na nieniszczący charakter badania. Wyniki przedstawiono w formie barwnych map odkształceń obiektu w kierunku prostopadłym do jego powierzchni, z zaznaczonymi czterema przekrojami (w poprzek włókien, widocznymi jako pionowe, cienkie, czarne linie). Mapom towarzyszą wykresy krzywizn wyznaczonych przekrojów. Cztery przykładowe wizualizacje pomiarów krzywizn zabytkowych obiektów przedstawia ilustracja nr 1. Dokładniej metoda pomiarów i sposób ich prezentacji zostały opisane w moim artykule opublikowanym w "Ochronie Zabytków" w 2013 roku¹⁸.

Po zmierzeniu powierzchni obrazów obliczono współczynnik jej odkształcenia w kierunku prostopadłym, wzdłuż i w poprzek włókien drewna podobrazia¹⁹. Syntetyczne zestawienie danych i wyników dotyczących pomiarów powierzchni zawarto w tabeli 2²⁰.

Na podstawie pomiarów powierzchni obrazów zabytkowych skanerem optycznym stwierdzono, że liczba desek podobrazia nie wpływa na wartość odkształceń powierzchni lica obrazu, jednak w niektórych przypadkach ma wpływ na kształt krzywizny.

Na stopień i charakter deformacji lica obrazów wpływają:

- sprawność parkietażu (wpływa na deformacje, ale nie na stan warstwy malarskiej),
- listwy parkietażu, zarówno ruchome, jak i nieruchome, które stanowią barierę przeciwwilgociową, zmieniają pracę drewna tablicy w miejscu ich występowania, co skutkuje pojawianiem się wyraźnego rysunku konstrukcji parkietażowej na wizualizacji pomiaru powierzchni lica obrazu,
- grubość listew parkietażu (bariery przeciwwilgociowej) – przyklejone listwy konstrukcji

sizes, typical for the collection, painted on oak panels, with a flat cradle made of pine and spruce wood.

An ATOS optical scanner was chosen to measure the face of the painting, keeping in mind the nondamaging nature of the study. The results were presented in the form of full-colour object deformation maps, perpendicular to the object surface, with four intersections marked (across the fibres, visible as thin, black, vertical lines). The maps are accompanied by graphs of intersection curves. Four examples of visualisation of curve measurements related to historic works of art are presented in figure 1. The measurement techniques and presentation methods have been described in more detail in my paper published in "Ochrona Zabytków" in 2013¹⁸.

After measuring the surface of paintings, their perpendicular deformation ratio was calculated, along and across the fibres of the support's wood'⁹. A synthetic presentation of the data and results related to surface measurements is shown in table 2²⁰.

Surface measurements of historic paintings using an optical scanner allowed to find that the number of planks of a support does not impact the value of surface deformations, but in some cases it can impact the shape of the curve.

The grade and nature of surface deformation is influenced by:

- cradle efficiency (no impact on the condition of the paint layer, but on distortion);
- cradle slats, both moveable and permanently fixed, working as an anti-humidity barrier, change the work of the panel wood, leading to the clear image of the cradle structure on a visualisation of painting surface measurement;
- thickness of cradle slats (the anti-humidity barrier) in the majority of cases, the permanently fixed slats decide about the nature of deformation of a thin panel. The places where the slats had been fixed are marked with convex, while spaces between the slats tend to be concave;
- thickness of the support the thicker the support, the higher the value of the panel deformation ratio;
- the size of the painting the bigger the work, the higher is wood distortion propensity (a similar relation is also reported for paintings without cradle). The number and length of cracks per

Tabela 2. Zestawienie danych z pomiarów obrazów skanerem optycznym ATOS w kolejności od najmniejszej do największej wartości współczynnika odkształcenia w kierunku prostopadłym do powierzchni lica, w poprzek włókien

Table 2. The measurement data from the ATOS optical scan of paintings, from the lowest to the highest value of the distortion ratio, perpendicular to the surface, across wood fibres

Numer inwentarzowy Inventory number	Wymiary w cm Dimension in cm	Wycięcie desek Planks cut	Liczba desek podobrazia Number of panel planks	Rozmieszczenie listew parkietażu Positioning of cradle slats	Grubość przyklejonych listew Thickness of fixed slats	Rodzaj drewna parkietażu Type of cradle wood	Sprawność parkietażu Cradle efficiency	Maksymalne odkształcenie Maximum deformation	ε1 %	ε2 %
M. Ob. 580	63,0×54,0 ×0,3	promieniowe radial	3	gęste dense	1,2 cm	sosna pine	+	2,47 mm	0,45	0,39
M. Ob. 2317	63,0×53,0 ×0,4	promieniowe, styczne radial, tangential	3	rzadkie ²¹ loose ²¹	1,6 cm	sosna pine	+	2,48 mm	0,46	0,39
M. Ob. 2413	64,5×9, 7 ×0,5	promieniowe radial	2	gęste dense	1,3 cm	świerk spruce	+	2,51 mm	0,50	0,38
M. Ob. 1056	97,0×72,0 ×0,3	promieniowe radial	4	gęste nieruchome, rzadkie ruchome dense immobile, loose mobile	1,5 cm	sosna pine	_	4,26 mm	0,59	0,43
M. Ob. 2436	65,0×47,0 ×0,3	promieniowe, styczne radial, tangential	2	rzadkie loose	1,5 cm	sosna pine	_	2,93 mm	0,62	0,45
158976	106,0×73,8 ×0,4	promieniowe radial	3	gęste nieruchome, rzadkie ruchome dense immobile, loose mobile	1,5 cm	sosna pine	_	4,77 mm	0,64	0,47
M. Ob. 2419	74,0×57,0 ×0,5	promieniowe radial	3	gęste dense	1,5 cm	świerk spruce	-	3,95 mm	0,69	0,53
M. Ob. 1206	66,0×56,0 ×0,6	promieniowe radial	2	gęste dense	1,7 cm	sosna pine	-	3,95 mm	0,70	0,59
M. Ob. 1811	62,3×48,4 ×0,3	promieniowe, styczne radial, tangential	2	rzadkie loose	1,2 cm	świerk spruce	-	3,53 mm	0,72	0,56
M. Ob. 1713	100,5×65,0 ×0,5	promieniowe radial	4	gęste dense	2 cm	świerk spruce	-	9,41 mm	1,44	0,93
Wartości średnie dla obiektów Average for objects		2,8	_	1,5 cm	_	_	4,03 mm	0,68	0,51	

w większości przypadków decydują o charakterze odkształceń cienkiej tablicy. W miejscach przyklejenia listew występują wybrzuszenia, natomiast pomiędzy listwami – wklęsłości,

 grubość podobrazia – im jest ona większa, tym współczynnik odkształcenia tablic jest wyższy, surface unit grow along with the painting size. It has been found that:

 the wood distortion ratio perpendicular to the surface going across the wood fibres is higher by 1.3 than a similar ratio for distortion along the wood fibres;

- wielkość obrazu im większe wymiary, tym większa skłonność do paczenia się drewna podobrazia (taka prawidłowość występuje również w obrazach bez parkietażu). Liczba i długość pęknięć przypadających na jednostkę powierzchni wzrastają wraz z wymiarem obrazu. Ustalono, że:
- współczynnik odkształcenia drewna prostopadłego do powierzchni lica podobrazia w poprzek włókien drewna jest 1,3 raza większy od współczynnika odkształcenia wzdłuż włókien drewna,
- największe zniekształcenia występują przy krawędziach (tzw. sztorcach desek), gdzie włókna drewna przecięte są w poprzek.

W mierzonych obrazach stwierdzono zniszczenia warstwy malarskiej i gruntu o bardzo jednostkowym charakterze, niezwiązane z występowaniem w tych miejscach listew parkietażu. Indywidualne cechy drewna, sposób wycięcia desek podobrazia wraz z naprężeniami wywołanymi przez parkietaż skutkują złym stanem zewnętrznych warstw technologicznych. Należy przy tym zaznaczyć, że również warstwa malarska może przyczyniać się do pogłębiania odkształceń tablicy poprzez wprowadzanie niesymetryczności w tempie dyfuzji pary wodnej. Według Sztyrak²² przy zmianach wilgotności względnej powietrza drewno, w którym rozkład naprężeń jest w stanie równowagi, a które pokryte jest jednostronnie powłoką malarską, ze względu na w przybliżeniu stałą wartość współczynnika oporu dyfuzyjnego powłoki oraz zmienną wartość oporu dyfuzyjnego drewna (zależną od wilgotności) będzie miało różny rozkład wilgotności i naprężeń prowadzących do deformacji.

Pomiary skanerem optycznym odkształceń powierzchni modeli podobrazi przed i po symulacji w komorze klimatycznej

Na podstawie analizy podobrazi zabytkowych wykonano sześć współczesnych modeli podobrazi z parkietażem, oddających charakterystykę dzieł wybranych do badań; przyjęto uśrednione wartości wymiarowe i liczbę desek. Za wzór posłużyły obrazy malarstwa północnoeuropejskiego, pochodzące z XVII wieku lub późniejsze, namalowane na podobraziach dębowych z sosnowym lub świerkowym • the biggest distortion is found near the panel edges, where the wood fibres are cut across.

In the measured paintings, damage of paint layer and of the ground of individual nature were found, unrelated to the presence of a cradle. The poor condition of the outside technological layers results from individual wood features, from the manner of support's planks cutting, as well as from the tension caused by the cradle. It should be noted at the same time, that the panel can be further distorted through the impact of the paint layer, which causes asymmetric rate of the vapor diffusion. According to Sztyrak²² with changes of relative air humidity, wood of a balanced internal tension pattern, covered with a single-sided paint layer, will acquire a varied pattern of moisture and tension, which is caused by the fact that the diffusion resistance ratio of the surface is roughly stable, while the diffusion resistance ration of the wood is variable (depending on humidity).

Optical scanner measurements of surface deformation of model panels, before and after the simulation in a climate chamber

Based on the analysis of the historic supports, six contemporary models with a cradle were produced, reflecting the features of the works selected for the study; dimension values and numbers of planks were assumed at an average level. The model panels were modelled on specimens of North-European painting of 17th century or later, painted on oak supports with pine- or spruce-based flat cradle (the type of cradle present in 69.8% of the studied objects).

The oak wood (*Quercus robur* L., density of 640 kg/m³) and pine wood (*Pinus sylvestris* L., density of 510 kg/m³) used for the production of models had been seasoned for two years after drying (at the temperature of approx. 20°C and relative humidity of approx. 65%) and reached the equilibrium moisture of 12%.

Oak panels of the dimensions of 72.5×49 cm, 0.5 cm thick, were glued with a hide glue from three planks, 16.5 cm, 16 and 16.5 cm width. Their reverses were mounted with a flat cradle consisting of immobile slats (fixed to the reverse), 3 cm width and 1.5 cm height, as well as of moveable slats of 3 cm width and





Nr inw. M. Ob. 2436 deski wycięte promieniowo, stycznie Ref. no. M. Ob. 2436 planks with radial/tangential cut



Nr inw. 158976 deski wycięte promieniowo Ref. no. 158976 planks with radial cut

parkietażem płaskim (taki parkietaż ma 69,8% badanych obiektów).

Drewno dębowe (*Quercus robur* L.) o gęstości 640 kg/m³ oraz sosnowe (*Pinus sylvestris* L.) o gęstości 510 kg/m³ użyte do wykonania modeli było po wysuszeniu sezonowane przez dwa lata (w temperaturze ok. 20°C i wilgotności względnej powietrza ok. 65%) i osiągnęło wilgotność równoważną 12%.

Tablice dębowe o wymiarach 72,5 \times 49 cm, grubości 0,5 cm, sklejono klejem skórnym z trzech desek

Nr inw. M. Ob. 1811 deski wycięte promieniowo, stycznie Ref. no. M. Ob. 1811 planks with radial/ tangential cut



Nr inw. M. Ob. 1056 deski wycięte promieniowo Ref. no. M. Ob. 1056 planks with radial cut

1. Zestawienie wizualizacji pomiarów 4 obiektów zabytkowych. Kolorystyczna skala wielkości odkształceń od największej deformacji do najmniejszej jest następująca: czerwony, pomarańczowy, żółty, zielony, niebieski, granatowy. Czarnymi pionowymi liniami zaznaczono przekroje w poprzek włókien (Z1, Z2, Z3, Z4), których wykresy pokazujące skalę deformacji znajdują się poniżej wizualizacji. Wszystkie ilustracje A. Trochimowicz

1. Measurements visualisation of 4 historic paintings. The colour scale of distortions, from the biggest to the smallest deformation, is reflected as follows: red, orange, yellow, green, light blue, navy-blue. Black vertical lines mark the cross-sections across wood fibres (Z1, Z2, Z3, Z4), whose graphs are below the visualisations to show the scale of distortion. All figures by A. Trochimowicz





2. Three types of model supports with a cradle: a) a dense structure of both fixed and moveable slats, b) a loose structure of both fixed and moveable slats, c) a combination of densely placed fixed slats and moveable ones in a loose structure

o szerokości 16,5 cm, 16, i 16,5 cm. Na ich odwrociach zamontowano płaskie parkietaże złożone z nieruchomych (klejonych do odwrocia) listew o szerokości 3 cm i wysokości 1,5 cm oraz z listew ruchomych o szerokości 3 cm i wysokości 1,0 cm. Wymiary listew ruchomych i nieruchomych ustalono, obliczając średnie wartości szerokości i wysokości listew parkietaży 10 oryginalnych obrazów mierzonych skanerem optycznym.

Do sklejenia wszystkich elementów (desek tablicy oraz parkietażu) użyto kleju glutynowego o 30% stężeniu glutyny i lepkości około 4°E, tak aby zachować jego właściwości klejące przy temperaturze 20°C i czas otwarty rzędu kilku minut, umożliwiający staranne naniesienie. Po sklejeniu podobrazia (w zaciskach stolarskich) były sezonowane przez 24 godziny celem uzyskania pełnej wytrzymałości spoin klejowych.

Wykonano trzy warianty parkietaży płaskich:

- a. z listwami nieruchomymi i ruchomymi rozłożonymi gęsto (odstępy pomiędzy krawędziami listew wynoszą 4-4,5 cm) (il. 2a),
- b. z listwami nieruchomymi i ruchomymi rozłożonymi rzadko (odstępy pomiędzy krawędziami listew wynoszą 12 cm, skrajne, ruchome listwy znajdują się 4,5 cm od krawędzi) (il. 2b),

1.0 cm height. The dimensions of moveable and fixed slats were established through a calculation of average width and height values of cradles in the 10 original paintings measured with an optical scanner.

All the components (panel planks and a cradle) were glued using a gluten glue with 30% gluten concentration and viscosity of 4°E, so that its gluing features could be retained at 20°C and allow the time of several minutes to secure careful application. After the gluing, the supports (in carpenter clamps) were seasoned for 24 hours in order to achieve a full resilience of adhesion joints.

Three variants of flat cradle were produced:

- a. with fixed and moveable slats in dense formation (distances between slats edges of 4-4.5 cm) (fig. 2a);
- b. with fixed and moveable slats in loose formation (distances between slats edges of 12 cm, extreme, moveable slats situated 4.5 cm from the edge) (fig. 2b);
- c. with fixed slats in dense formation (distances between slats edges of 4-4.5 cm) and moveable slats in loose formation (distances between slats edges of 12 cm, extreme, moveable slats situated 4.5 cm from the edge) (fig. 2c).

The moveable slats were inset in the holes in fixed slats without loose space.

c. z listwami nieruchomymi rozłożonymi gęsto (odstępy pomiędzy krawędziami listew wynoszą 4-4,5 cm) i ruchomymi rozłożonymi rzadko (odstępy pomiędzy krawędziami listew wynoszą 12 cm, skrajne listwy znajdują się 4,5 cm od krawędzi) (il.2c).

Listwy ruchome były wsuwane w otwory w listwach nieruchomych parkietażu bez luzów.

Wykonano po dwa egzemplarze poszczególnych wariantów parkietażu, które następnie zamontowano na dwóch różnych typach tablic – sklejonych z desek wyciętych promieniowo oraz z desek wyciętych stycznie. Listwy parkietaży zostały wycięte promieniowo.

Dla porównania wykonano dwie tablice bez parkietażu, jedną z desek wyciętych promieniowo, drugą – z wyciętych stycznie. Tablice te miały taką samą szerokość i wysokość jak pozostałe modele, ale grubość 1 cm, tak jak obrazy bez parkietażu²³.

Powierzchnię tablic przeklejono 3,5% klejem skórnym, następnie nałożono trzykrotnie 10% zaprawę kredowo-klejową. Po wyschnięciu powierzchnię wyszlifowano papierem ściernym. Następnie tablice były sezonowane przez miesiąc w temperaturze 22°C i wilgotności około 60%. Po tym okresie ich powierzchnię pomalowano dwukrotnie farbą olejną koloru brązowego (493 Umbra Naturalna Classico firmy Maimeri)²⁴. Kontrastowy w stosunku do zaprawy kolor farby miał pozwolić na zaobserwowanie ewentualnych spękań warstw technologicznych. Przed nałożeniem następnej warstwy technologicznej podobrazia były sezonowane w warunkach takich jak poprzednio przez dwa miesiące. Powierzchnię zabezpieczono dwukrotnie, nakładając werniks damarowy.

Pomiary powierzchni modeli podobrazi wykonano skanerem optycznym ATOS w sposób analogiczny jak w przypadku obrazów zabytkowych. Pomiary przeprowadzono przed i po symulacji wahań klimatu w komorze klimatycznej. Wyniki oraz stan oryginalnych obrazów i modelowych tablic porównano.

W przypadku pomiarów modeli podobrazi określono ich kształt przed i po symulacji okresowych wahań klimatu w komorze klimatycznej. Ponieważ zniekształcenia początkowe były znacznie mniejsze niż po symulacji, pokazanie wszystkich zniekształceń na jednej wizualizacji okazało się niemożliwe. W związku z tym dla każdego modelowego podobrazia przygotowano dwa rodzaje wizualizacji po Two copies were made of each cradle variant, each of them then mounted on two different types of panels – made of planks with radial cut and with tangential cut respectively. Cradle slats had been made using a radial cut.

For comparison and reference, two panels without a cradle were produced – one with radial cut planks, the other with tangential cut planks. Those panels had the same width and height as the remaining models, but they were 1 cm thick, as paintings without a cradle²³.

The surface of the panels was glued with 3.5% hide glue, then covered three times with a 10% gesso. After drying, the surface was polished with sandpaper. Subsequently, the panels were being seasoned for a month in the temperature of 22°C at the humidity of approximately 60%. After the seasoning stage, their surface was covered with a brown oil paint twice (493 Classico Raw Umber by Maimeri)²⁴. The surface paint colour, contrastive against the ground, would allow for an easier observation of possible cracks in technological layers. Prior to being covered with another technological layer, the panels were seasoned under the same conditions as before, this time for a period of two months. The surface was protected with two layers of dammar varnish.

Measurements of the surface of model panels were done using an ATOS optical scanner in a manner analogical to measuring original old paintings. The measures were taken before and after a simulation of climate changes in a climatic chamber. The study results and the status of original paintings and of the model panels were subsequently compared.

In case of the model panels measurements, their shapes were defined before and after the simulation of periodical climate changes in the climatic chamber. As the initial deformations were substantially smaller than those after the simulation, presenting all the distortions in a single visualisation proved impossible. Therefore, after the climate change simulation two types of visualisation were prepared for each model panel: one showing the general surface distortion and another, with local distortions visible.

The second type of visualisation was achieved through inscribing the general panel shape into a cylinder of the biggest possible radius, so that the



3. Krzywizna, względem której pokazano lokalne odkształcenia próbnych podobrazi po symulacji okresowych wahań klimatu. Uzyskano ją poprzez wpisanie ogólnego kształtu podobrazia w cylinder

3. The reference curve that served to show local distortions of model panels after the periodical climate change simulation. It was achieved through inscribing the general shape of the support into a cylindrical shape

symulacji wahań klimatu: jedną pokazującą ogólne odkształcenie powierzchni oraz drugą, na której widoczne są odkształcenia lokalne.

Drugi rodzaj wizualizacji uzyskano poprzez wpisanie ogólnego kształtu podobrazia w cylinder o maksymalnym promieniu, tak aby uzyskana powierzchnia najbardziej odpowiadała kształtem tablicy próbnej. Na wizualizację nałożono fotografię konstrukcji parkietażowej obecnej z tyłu, co pozwoliło ustalić zależności między krzywizną powierzchni tablicy a konstrukcją parkietażową (il. 3).

Symulacja wahań mikroklimatu dla modeli podobrazi

Modele podobrazi zostały poddane skrajnym warunkom mikroklimatycznym notowanym w Muzeum Narodowym w Warszawie. W komorze klimatycznej WK 340 Weiss Technik podobrazia poddano 40 cyklom zmian mikroklimatu, wystawiając je na przemian na następujące warunki:

- temperatura 25 °C i wilgotność względna powietrza 30%,
- temperatura 15 °C i wilgotność względna powietrza 80%.

surface obtained had the closest possible shape to the trial board. A photograph of a cradle present on the reverse was imposed on the visualisation, which enabled to find dependence between deformation of the panel's face and the cradle (fig. 3).

Microclimate changes simulation for model panels

The model panels were subjected to extreme microclimatic conditions reported at the National Museum in Warsaw. In the WK 340 Weiss Technik climate chamber, the panels were subject to 40 cycles of micro-climate changes, which involved exposition to:

- temperature of 25 °C and relative air humidity of 30%;
- temperature of 15 °C and relative air humidity of 80%.

The first climate was maintained for three days, then a change to the second climate followed, also lasting three days (fig. 4). Due to the chamber's inertia, the transition from one climate to the other lasted approximately two hours. The panels were removed from the chamber after a three-day period of the last cycle (temperature of 25 °C and relative



4. Schemat zmian cykli mikroklimatycznych, jakim poddano modelowe podobrazia

4. The scheme of changes of micro-climate cycles that affected the model panels

Pierwszy klimat utrzymywano przez trzy dni, po czym następowała zmiana na klimat drugi, który również panował przez trzy dni (il. 4). Ze względu na bezwładność komory przejście z jednego klimatu do drugiego trwało około dwóch godzin. Tablice wyjęto z komory po tym, jak przez trzy dni ostatniego cyklu znajdowały się w temperaturze 25 C° i wilgotności względnej powietrza 30%. Podobrazia osiągnęły wilgotność równoważną około 6%.

Pomiary zaprezentowano na przykładzie podobrazia testowego nr 1. Tablica została wykonana air humidity of 30%.) They reached an equilibrium moisture of approximately 6%.

The presentation of measurements used the example of the test support no. 1. The panel was made of planks prepared with a radial cut, with cradle of a dense pattern of fixed slats and loosely laid-out moveable ones.

Before the climate change simulation

The visualisation of the object curve measurement shows a slight undulation of the surface (fig. 5). The



5. Próbne podobrazie nr 1 przed symulacją wahań klimatu. Wizualizacja pomiaru powierzchni obiektu skanerem optycznym ATOS
 5. The model panel no. 1 before the climate change simulation. Visualisation of the surface measurement using an ATOS optical scanner

z desek wyciętych promieniowo z parkietażem o gęsto przyklejonych nieruchomych listwach i rzadziej rozłożonych ruchomych.

Przed symulacją wahań klimatu

Na wizualizacji pomiaru krzywizny obiektu widać niewielkie pofalowanie powierzchni (il. 5). Największe odkształcenia o wartości 1,38 mm widoczne są w postaci czerwonych obszarów przy tych krawędziach, gdzie odsłonięte są przecięte w poprzek włókna drewna (miejsca intensywniejszej wymiany wilgoci z otoczeniem) – podobnie jak w przypadku większości obiektów zabytkowych. Przy lewej krawędzi w górnej części obrazu drewno podobrazia nie zareagowało tak gwałtownie jak wzdłuż pozostałych krawędzi. Ponowne znaczne odkształcenie, zaznaczone za pomocą koloru czerwonego, zaobserwowano w lewym górnym rogu, w obrębie listwy parkietażu. W stronę środka obrazu powierzchnia obniża się. Wypukłości znajdujące się przy krawędziach są widoczne w postaci żółtych smug na zielonym tle. Wartości odkształceń wynoszą w partiach zielonych 0,40-0,80 mm, a w żółtych 0,80-1 mm. Najniżej położone na licu obiektu punkty - obszary granatowe - znajdują się



6. Próbne podobrazie nr 1 przed symulacją wahań klimatu. Wizualizacja pomiaru powierzchni obiektu skanerem optycznym ATOS z nałożonym zdjęciem odwrocia obiektu, z zaznaczonymi czterema przekrojami – Z1, Z2, Z3, Z4 – w poprzek włókien desek podobrazia. Widoczna jest relacja pomiędzy krzywizną lica obiektu a konstrukcją parkietażu

6. The model panel no. 1 before the climate change simulation. Visualisation of the surface measurement using an ATOS optical scanner, with a superimposed photograph of the object's reverse. The four cross-sections are marked – Z1, Z2, Z3, Z4 – across the wood fibres of the support. The relation between the surface curve and the cradle structure is visible

biggest distortions, with the value of 1.38 mm, are visible in the form of red areas near those edges where the wood fibres cut across have been exposed (the places of more intensive moisture exchange with environment) - like in most cases of historic works of art. At the upper left edge, the support's wood did not react with such strength as along the other edges. Another substantial distortion, marked with the red colour, was observed at the upper left corner, within the cradle slat. The surface is descending towards the central part of the painting. Convex spaces near the edges are visible as yellow smudges on a green background. The values of distortions are between 0.40 and 0.80 mm in green areas, and between 0.80 and 1 mm in yellow ones. The lowest points on the surface – the navy-blue areas - are situated at the lower and upper edge, as well as in the central part, closer to the upper edge. On the surface of those areas one can see some lighter smudges of blue - these are the fragments situated higher up. Within the central navy blue area, they can be found in the places where - on the reverse - the moveable cradle slats were placed (fig. 6). The longitudinal blue areas comprise two fixed slats - the first and the second from the top, as well as the third and the fourth. The blue areas' deviation value from the lowest point is approximately 0.20 to 0.40 mm.

The graph showing cross-sections includes a wellvisible amplitude of the object's undulation (fig. 7). The painting's side edges are higher up by about 1 mm than the central part of the panel. The graphs Z1 and Z4 have their highest values at opposite edges, which testifies to the panel's being warped. Influence of cradle on the undulation of the surface is better visible on cross-sections than in the visualisation. The painting's surface tends to be lower in the areas of slats and higher between them. The painting is slightly undulated. The maximum distortion amounts to 1.38 mm. An impact of curves of particular (radially cut) panel's planks on the general shape of the painting is not visible.

After the climate change simulation

The panel's surface has been substantially distorted. The bulge is the biggest in the central part, with the maximum distortion of 10.3 mm. The board's general shape is presented in figure 8.





przy krawędzi dolnej i górnej oraz w części środkowej, bliżej górnej krawędzi. Na ich powierzchni widnieją jaśniejsze smugi koloru niebieskiego – to fragmenty położone wyżej. W obrębie środkowego granatowego obszaru znajdują się one w miejscach, w których od strony odwrocia umieszczono ruchome listwy parkietażu (il. 6). Podłużne, granatowo-niebieskie obszary obejmują po dwie nieruchome listwy – pierwszą i drugą od góry oraz trzecią i czwartą. Wartość odchylenia niebieskich partii od najniższego punku wynosi około 0,20 do 0,40 mm.

Na wykresie przekrojów widoczna jest amplituda pofalowania obiektu (il. 7). Boczne krawędzie obrazu znajdują się wyżej o około 1 mm niż środek tablicy. Wykresy Z1 i Z4 mają najwyższe wartości na przeciwległych krawędziach, co świadczy o zwichrowaniu tablicy. Na przekrojach wpływ parkietażu na pofalowanie powierzchni lica jest lepiej widoczny niż na wizualizacji. W obrębie listew powierzchnia obrazu jest przeważnie niżej, natomiast pomiędzy listwami jest wybrzuszona. Obraz jest nieznacznie pofalowany. Maksymalne odkształcenie wynosi 1,38 mm. Nie jest widoczny wpływ krzywizny poszczególnych desek tablicy (wyciętych promieniowo) na ogólny kształt obrazu.

Po zakończeniu symulacji wahań klimatu

Płaszczyzna tablicy znacznie się odkształciła. Najbardziej wybrzuszona jest w środkowej części, a maksymalne odkształcenie wynosi 10,3 mm. Ogólny kształt tablicy pokazany jest na ilustracji nr 8.

Local distortions are marked in figure 9. The biggest of those can be seen at the side edges of the painting, where the wood fibres were cut through. Those spots are situated 4.94 mm above the lowest points on the painting's general curvature. The bulges are visible between the fixed slats of the cradle. Their shapes remain unchanged towards the painting's centre. Within the yellow areas, in the central part, one can see slight concavities at the crossings of fixed and moveable cradle slats - these particular areas are marked green. The distortion values from the general curvature of the painting are approximately 3.20-3.70 mm in yellow parts, 2.00-3.20 mm in green parts, 0.90-2.00 mm in light blue parts, and 0-0.90 mm in navy-blue ones. The lowest points are situated at the lower and upper edges of the painting.

A crack across all the technological layers is visible at the right edge, above the third fixed slat from the top, is well visible, as well as another one, at the left edge, on the lower edge of the third fixed slat from the bottom (fig. 9 and 10). Two more small cracks can also be seen at the right edge, only within the top technological layers. The combined length of the cracks amounts to 15 cm (fig. 11). Close-up surface photographs at the cracked spots reveal the particular type of damage to the ground and the paint layer – crumbling and roofshaped, lifted flakes above the planks cracks, analogical to that in original historic paintings (fig. 12).

Planks tend to crack along the rays, where the wood has the lowest durability. Also along these lines one can see the cracks in the fixed cradle slats. The moveable slats display no cracks.



8. Próbne podobrazie nr 1 po symulacji wahań klimatu. Wizualizacja pomiaru ogólnej krzywizny powierzchni obiektu skanerem optycznym ATOS

8. The model panel no. 1 after the climate change simulation. Visualisation of the general curvature measurement using an ATOS optical scanner

Na ilustracji nr 9 zaznaczają się lokalne odkształcenia. Największe z nich widoczne są przy krawędziach bocznych obrazu, tam, gdzie są poprzecinane włókna drewna. Miejsca te znajdują się 4,94 mm wyżej niż najniższe punkty na ogólnej krzywiźnie obrazu. Wybrzuszenia widoczne są pomiędzy nieruchomymi listwami parkietażu, ich kształt nie zmienia się ku środkowi obrazu. W obrębie żółtych obszarów, w środkowej części obrazu, można zauważyć nieznaczne wklęsłości w miejscu skrzyżowań nieruchomych i ruchomych listew parkietażu - są to obszary koloru zielonego. Wartości odkształceń od ogólnej krzywizny obrazu w partiach żółtych wynoszą około 3,20-3,70 mm, w partiach zielonych 2,00-3,20 mm, w niebieskich 0,90-2,00 mm, a w granatowych 0-0,90 mm. Najniżej położone punkty znajdują się przy dolnej i górnej krawędzi obrazu.

Zauważalne jest pęknięcie wszystkich warstw technologicznych przy prawej krawędzi, powyżej trzeciej licząc od góry nieruchomej listwy, oraz przy lewej krawędzi, na dolnej krawędzi trzeciej od dołu nieruchomej listwy (il. 9 i 10). Przy prawej krawędzi widoczne są jeszcze dwa bardzo niewielkie spękania jedynie w obrębie górnych warstw technologicznych. Łączna długość spękań wynosi 15 cm (il. 11). Zdjęcia zbliżeń powierzchni w miejscu spękań The considerable deformation of the painting's surface is also visible on the graph presenting the cross-sections (fig. 10). Graphs Z1 and Z4 reach the



9. Próbne podobrazie nr 1 po symulacji wahań klimatu. Wizualizacja lokalnych odkształceń obiektu zmierzonych skanerem optycznym ATOS z nałożonym zdjęciem odwrocia obiektu, z zaznaczonymi czterema przekrojami – Z1, Z2, Z3, Z4 – w poprzek włókien desek podobrazia. Widoczna jest relacja pomiędzy krzywizną lica obiektu a konstrukcją parkietażu, jak również pęknięcia warstw technologicznych

9. The model panel no. 1 after the climate change simulation. Visualisation of local distortions measured using an ATOS optical scanner, with a superimposed photograph of the object's reverse. The four cross-sections are marked – Z1, Z2, Z3, Z4 – across the wood fibres in the planks of the support. The relation between the surface curve and the cradle structure is visible, as well as cracks across technological layers





ukazują rodzaj zniszczeń gruntu i warstwy malarskiej – wykruszenia i daszkowato uniesione łuski ponad pęknięciem desek, analogiczne jak w obrazach zabytkowych (il. 12).

Deski pękają wzdłuż promieni, tam, gdzie drewno ma najniższą wytrzymałość. Również wzdłuż promieni widoczne są spękania nieruchomych listew parkietażu. Ruchome listwy nie są popękane.

Znaczne zniekształcenie powierzchni obrazu widoczne jest również na wykresie przekrojów (il. 10). Wykresy Z1 i Z4 osiągają wyższe wartości od pozostałych o około 1 mm. Ich lokalne zniekształcenia są większe – widoczne są znaczne wybrzuszenia pomiędzy listwami konstrukcji. Na wykresie Z1 i Z4 widać również pęknięcia podobrazia w postaci ujemnych pików na krawędziach nieruchomych listew parkietażu – trzeciej od góry po prawej stronie obrazu i trzeciej od dołu po stronie lewej. W środkowej części obrazu, między listwami, lokalne deformacje osiągają wyższe wartości – dochodzą do 1,5 mm, przy bocznych krawędziach są mniejsze – około 0,5 mm.

Maksymalne odkształcenie podobrazia od początkowego kształtu, zmierzonego przed zabiegiem sezonowania w komorze klimatycznej, wynosi 9,96 mm w środkowej części obrazu (il. 13, tab. 3). Zniekształcenie powiększyło się 7,21 razy. Ogólny kształt tablicy jest wypukły, zniekształcenie podobrazia jest charakterystyczne dla obrazów tablicowych malowanych jednostronnie. Przed zabiegiem symulacji wahań klimatu tablica była zwichrowana po skosie, obecnie nie jest to zauważalne. values higher than the others by approximately 1 mm. Their local deformations are bigger – considerable bulges are visible between the structure's slats. Both graphs Z1 and Z4 also show cracks of the support in the form of negative peaks at the edges of the fixed cradle slats – third from the top on the right side of the painting and third from the bottom on the left. In the central part of the painting, between the slats, local distortions reach higher values – peaking at 1.5 mm, while the values are lower at side edges – at approximately 0.5 mm.

The maximum distortion of the support from the original shape as measured before the seasoning



11. Zdjęcie podobrazia próbnego nr 1 z nałożonym zdjęciem parkietażu od strony odwrocia. Na żółto zaznaczono pęknięcia znajdujące się pomiędzy nieruchomymi listwami parkietażu

11. Photograph of the model support no. 1 with a superimposed photograph of the cradle from the reverse side. The cracks between fixed cradle slats are marked yellow

Porównując deformacje lokalne przed i po symulacji, zauważyć można, że najbardziej odkształcone od samego początku były krawędzie boczne obrazu, jednak po zabiegu postarzania najwyższe wartości skumulowały się nie przy krawędziach górnej i dolnej, a w części środkowej. Zarówno przed, jak i po symulacji widoczne są wybrzuszenia pomiędzy listwami konstrukcji. W obrazach muzealnych często sytuacja jest odwrotna. Wynika to z powtarzanych wielokrotnie naprężeń zginających w obrębie tablicy pomiędzy listwami parkietażu, gdzie powstają uszkodzenia spowodowane ściskaniem (zgniecenia) i rozciąganiem (pęknięcia). Tworzą się wtedy załamania powierzchni utrwalające kształt tablicy w warunkach obniżonej wilgotności. Zjawisko to zostało również zaobserwowane w badaniach Brewera i Forno²⁵.

Porównanie wyników pomiarów powierzchni modeli podobrazi przed i po symulacji wahań klimatu

W tabeli 3 przedstawiono zestawienie wartości maksymalnych odkształceń prostopadłych do płaszczyzny tablicy (konkretnych punktów tablic) przed i po zabiegu symulacji wahań klimatu.

Modele podobrazi z parkietażem odkształciły się prostopadle do płaszczyzny w poprzek włókien średnio o 1,41%, a wzdłuż o 0,96%. Modele bez parkietaży odkształciły się prostopadle do płaszczyzny o 3,09% w poprzek włókien i o 2,09% wzdłuż włókien – ponad dwa razy bardziej niż modele z parkietażem. Oprócz znacznego wygięcia, na ich powierzchni pojawiły się również zniszczenia wywołane dużym odkształceniem.

Współczynnik odkształcenia modeli podobrazi prostopadłego do płaszczyzny w poprzek włókien drewna jest 1,4 raza większy od współczynnika odkształcenia wzdłuż włókien, zarówno w obiektach z parkietażem, jak i bez niego.

Najbardziej odkształciły się modele bez parkietażu. Spośród obiektów z parkietażem odkształcenia były największe w modelach podobrazi nr 1 i 2 z konstrukcją o gęsto przyklejonych listwach i rzadziej rozmieszczonych listwach ruchomych. Ich odkształcenia mają około dwa razy większe wartości od najmniej odkształconych tablic.

Najmniej odkształciły się modele nr 5 i 3 o promieniowo wyciętych deskach podobrazia. Pierwszy



12. Zdjęcia uszkodzeń warstwy malarskiej powstałych przy bocznej krawędzi tablicy, na krawędzi nieruchomej listwy parkietażu przyklejonej od odwrocia – spękania i wykruszenia warstwy malarskiej wraz z gruntem
12. Photographs of the damage to the paint layer caused at a side edge of the panel, at the edge of a cradle slat fixed to the reverse – cracks and crumbling of the paint layer and the ground

in the climate chamber amounted to 9.96 mm in the central part of the painting (fig. 13, tab. 3). The distortion grew by a factor of 7.21. The panel's general shape is convex, the support deformation is typical of one-sided panel paintings. Prior to the simulation of climate changes the panel had been warped at the diagonal dimension, which is not presently visible.

Comparing local distortions before and after the simulation, it can be noted that the side edges of the painting were the most deformed in the beginning, but after the ageing operation the highest distortion values cumulated not at the upper/lower edges, but in the central part. Both before and after the simulation, the bulges are visible between the structure's slats. It is often quite an opposite case with museumstored works of art. This results from multiple bending tensions within the panel, between the cradle slats, where damage is caused by squeezing (crushes) and stretching (cracks). Distortions to the surface follow, impacting the panel's shape under decreased humidity. The same phenomenon was also observed in the research by Brewer and Forno²⁵.

Comparing measurement results of the model panels surfaces before and after the climate change simulation

Table 3 presents a set of maximum values of distortions perpendicular to the panel's surface (specific spots on the board) before and after the climate change simulation.



13. Różnica deformacji modelowego podobrazia nr 1 przed i po zabiegu starzenia

13. Difference in the distortion of the model panel no. 1 before and after the ageing

z nich ma konstrukcję z rzadko rozłożonymi, drugi – z gęsto rozłożonymi listwami parkietażu. Średnie wartości odkształcenia mają podobrazia nr 6 i 4 o deskach wyciętych stycznie.

Na podstawie danych dotyczących maksymalnej różnicy odkształcenia przed i po symulacji wahań klimatu oraz liczby spękań podobrazi stwierdzono, że:

- największej destrukcji uległ model podobrazia nr 8, bez parkietażu, o stycznie wyciętych deskach. Zniekształcił się on w znacznym stopniu (druga wartość różnicy odkształcenia) i popękał najbardziej ze wszystkich modeli,
- spośród modeli z parkietażem najbardziej odkształciło się i popękało podobrazie nr 2, sklejone z desek wyciętych stycznie, z nierównomiernie rozłożonymi listwami konstrukcji,
- najmniejsze zniszczenia odnotowano w najmniej odkształconych modelach wykonanych z desek wyciętych promieniowo – nr 5, z parkietażem o rzadko rozłożonych listwach, i nr 3, z parkietażem z gęsto rozłożonymi listwami.

Najkorzystniejszym zestawieniem podobrazia i konstrukcji parkietażowej wydaje się być tablica sklejona z desek wyciętych promieniowo z konstrukcją o równomiernie rozłożonych listwach poziomych i pionowych. Szerokość odstępu pomiędzy listwami nie wpływa na deformacje. Cradled model panels distorted perpendicularly to the surface, across the wood fibres, by an average of 1.41%, and by 0.96% along the fibres. The models without a cradle distorted perpendicularly, across and along the wood fibres, by an average of 3.09% and 2.09% respectively – more than twice the value for the cradled panels. Apart from a substantial general bending, their surfaces also suffered from damage caused by major deformation.

Perpendicular distortion ratio of the model panels across the wood fibres is higher by a factor of 1.4 compared to the same ratio along the fibres, both for the cradled and non-cradled panels.

The most distorted ones were the models without a cradle. Among the cradled objects, deformation was the highest in the supports models no. 1 and 2, with dense formation of fixed and loose formation of moveable slats. Their distortion values are about twice as high as the least deformed boards.

The least distorted ones were the models no. 5 and 3, with a radial cut of panel planks. The first model has a structure with loose, and the second one – with dense formation of slats in the cradle. Average distortion levels were found in the supports no. 6 and 4 with tangential panel cuts.

Based on the data related to the maximum distortion difference before and after the climate change simulation, and on the number of cracks found in the supports, it was found that:

• the most distorted was the model panel no. 8, without a cradle, with planks cut in an tangential

Nr podobrazia Panel no.	Wycięcie desek Planks cut	Rodzaj parkietażu Cradle type	Maksymalne różnice odkształceń przed i po symulacji wahań klimatu Maximum difference before and after the climate change simulation	Różnica ε ₁ % Difference ε ₁ %	Różnica $\epsilon_2\%$ Difference $\epsilon_2\%$
5	promieniowo radial	rzadki loose	5,12 mm	1,03	0,70
3	promieniowo radial	gęsty dense	6,11 mm	1,27	0,86
6	stycznie tangential	rzadki loose	9,00 mm	1,42	0,96
4	stycznie tangential	gęsty dense	9,95 mm	1,64	1,11
1	promieniowo radial	nieruchome gęsto, ruchome rzadko fixed dense, moveable loose	9,96 mm	1,82	1,23
2	stycznie tangential	nieruchome gęsto, ruchome rzadko fixed dense, moveable loose	9,97 mm	1,33	0,90
Wartości średnie dla obiektów z parkietażem Average values for cradled objects			8,35 mm	1,41	0,96
8	stycznie tangential	_	10,93 mm	2,85	1,92
7	promieniowo radial	_	18,50 mm	3,34	2,26
Wartości średnie dla obiektów bez parkietaży Average values for objects without a cradle			14,71 mm	3,09	2,09

Tabela 3. Zestawienie wartości różnicy maksymalnych odkształceń modelowych podobrazi przed i po symulacji okresowych wahań klimatu w kolejności od najmniejszej do największej wartości odkształcenia powierzchni lica

Table 3. Difference values of maximum model panels distortions before and after the climate change simulation, from the lowest to the highest value of surface distortion

Podsumowanie badań modeli podobrazi

Modelowe podobrazia zostały wykonane z materiałów, które mają nieco inne właściwości mechaniczne niż elementy oryginalnych obrazów – drewno jest stosunkowo świeże, przeklejenie i grunty tablic mają znacznie większą elastyczność, warstwa malarska nie utleniła się i również jest znacznie bardziej odporna na zmiany wymiarowe podobrazia. Modele wykonano z desek o niewielkiej grubości, imitujących oryginalne tablice po zabiegu prostowania i ścienienia. Konstrukcja parkietażowa została zamontowana na odwrociach modeli. Przed ścienieniem i założeniem parkietażu drewno podobrazi nie pracowało ze wszystkimi warstwami technologicznymi pod wpływem zmiennych warunków klimatycznych, tak manner. It was substantially deformed (the second highest value of deformation difference) and had more cracks than any other model,

- among the cradled model panels, the most distorted and cracked one is the panel no. 2, with planks in an tangential cut, and with uneven formation of the structure's slats,
- the lowest level of damage was reported in the least distorted models, made of planks with a radial cut – no. 5, with a loose cradle, and no. 3, with dense cradle.

It seems that the most beneficial support and cradle setup is a panel of radial-cut planks combined with a cradle structure of evenly spread horizontal and vertical battens. The width of the space between slats does not impact actual distortion levels. jak miało to miejsce w wypadku obrazów zabytkowych. Na tak przygotowane podobrazia założono grunt, warstwę malarską i werniks. Starając się odzwierciedlić technikę wykonania obiektów wybranych do pomiarów skanerem optycznym ATOS, na modele podobrazi nałożono grunt kredowo-klejowy, wprowadzając do obiektu niewielką ilość wilgoci od strony lica. Wyniki badań przedstawiają zatem tylko część mechanizmów wpływających na prace drewnianego podobrazia z konstrukcją parkietażową.

W trakcie poddawania modeli podobrazi symulacji okresowych wahań klimatu w komorze klimatycznej zauważono, że jako pierwsze pojawiają się pęknięcia podobrazi dębowych zaczynające się od krawędzi przekrojów poprzecznych, idące głównie w kierunku promieniowym, wzdłuż promieni drzewnych. Dalsze cykle zmian mikroklimatu doprowadziły do powstania pęknięć na przekrojach wzdłużnych tablic (głównie podobrazi stycznych) i pęknięć na czołach nieruchomych listew parkietażu w kierunku promieniowym (gdzie odsłonięte są poprzecinane włókna drewna). Pęknięciom drewna towarzyszą spękania gruntu wraz z warstwą malarską. Przed pęknięciem drewna podobrazia na powierzchni tablicy widoczne były daszkowato uniesione łuski zewnętrznych warstw technologicznych (gruntu, warstwy malarskiej, werniksu), które w momencie powiększenia się pęknięcia drewna odspajały się od podłoża.

Daszkowato uniesione, bardzo drobne łuski pojawiły się również na granicy przyrostów rocznych drewna w najbardziej odkształconym modelu podobrazia (bez parkietażu, sklejonym z desek wyciętych promieniowo). Porowate drewno wczesne przy granicach słojów, o cieńszych ścianach, było przy zmianach wilgotności deformowane przez napierające, mocniejsze mechanicznie drewno późne. Ponadto w porowatym, szorstkim drewnie zaprawa lepiej trzyma się podłoża, a łatwo odspaja się od zwartego drewna późnego. Uszkodzenia te pojawiły się na samym końcu procesu symulacji okresowych wahań klimatu.

We współcześnie wykonanych modelach podobrazi stwierdzono początki widocznych gołym okiem uszkodzeń warstw malarskich, analogicznych do obserwowanych w obrazach zabytkowych.

Należy przypuszczać, że na powierzchni pozostałych modeli podobrazi tego rodzaju uszkodzenia

Summary of the study of model panels

The model supports were made of the materials with slightly different mechanical features from those found in original paintings – the wood was relatively fresh, with considerably higher flexibility of the glue and ground layers, the paint layer has not been oxidised and as such it is also much more resistant to the dimension changes of the support. The models were made of relatively thick planks, imitating original panels after the straightening and thinning. The cradle was mounted on the reverse of the model panels. Prior to the thinning and cradle mounting, the wood of the model panels did not work with all the technological layers subject to changeable weather conditions, which had been the case with original paintings. The so prepared model panels were then covered with the ground layer, the paint layer and with varnish. In an attempt to reflect the manufacturing technology of the objects chosen for the ATOS optical scanner study, the model boards were covered with chalk-and-glue gesso, introducing a little moisture to the top surface. Therefore, the study results represent only a part of all the mechanisms influencing the working of a wooden panel with a cradle.

During the process of subjecting the model panels to the simulation of periodical climate changes in a climate chamber, it has been noticed that the first to appear were the cracks in oak panels, starting from edges of cross-sections and going mainly radial-wise, along the rays of the wooden material. Further cycles of micro-climate change led to the cracks on longitudinal sections of the panels (mainly in the supports with tangential wood patterns) and to the cracks on the face of fixed battens of the cradle, going in the radial direction (where cutting of wood fibres is exposed). The cracks in the wood are accompanied by analogical cracks in the ground and in the paint layer. Before the crack of the support wood, the surface of the panel exposed roof-shaped, lifted flakes of external technological layers (ground, paint layer and varnish), which disjointed from the board at the moment the wood crack started growing.

Roof-shaped, lifted, very little flakes also appeared at the edges of annual wood growth in the most distorted model panel (without cradle, made of planks with a radial cut). The porous earlywood zewnętrznych warstw technologicznych pojawiłyby się wraz ze wzrostem odkształcenia lub/i liczby cykli starzenia w komorze klimatycznej.

Wykonując pomiary skanerem optycznym, stwierdzono, że:

- Współczynnik odkształcenia modeli podobrazi prostopadle do lica, w poprzek włókien drewna, jest 1,4 raza większy od współczynnika odkształcenia wzdłuż włókien. Wynik jest podobny do uzyskanego przy pomiarze obrazów zabytkowych, gdzie wartość wynosiła 1,3.
- Listwy parkietażu, zarówno ruchome, jak i nieruchome, stanowią barierę przeciwwilgociową, wpływając na pracę drewna w miejscu przylegania do tablicy obrazu; dodatkowo zaobserwowano "wypłaszczenia" tablicy w obrębie skrzyżowań listew konstrukcji.
- W połowie modeli największe lokalne odkształcenia znajdują się przy bocznych krawędziach tablicy, tam, gdzie odsłonięte są poprzecinane włókna drewna. W przypadku obrazów zabytkowych taki wynik pomiaru uzyskano w przypadku wszystkich mierzonych dzieł.
- Modele podobrazi z parkietażem, o deskach wyciętych stycznie, mają większe deformacje lokalne i częściej pękają.
- Najlepiej zachowują się modele podobrazi z parkietażem o deskach wyciętych promieniowo.
- Najkorzystniejszym zestawieniem podobrazia

 i konstrukcji parkietażowej jest tablica sklejona
 z desek wyciętych promieniowo z konstrukcją
 o równomiernie rozłożonych listwach wzdłuż
 i w poprzek włókien. Szerokość odstępu pomiędzy listwami ma mniejsze znaczenie. Parkietaż
 gęsty bardziej stabilizuje kształt tablicy, natomiast tablice z parkietażem o większej liczbie (zagęszczeniu) nieruchomych listew w stosunku do
 ruchomych mają największe tendencje do pękania. Pęknięcia mogą pojawiać się również w obszarach przyklejenia listew do tablicy, a nie tylko
 między nimi.
- W wyniku działania zmiennych warunków mikroklimatycznych możliwe jest pękanie tablic w obrębie przyklejonych listew parkietażu (należałoby wykonać więcej prób).
- Modele bez parkietaży odkształciły się ponad dwa razy bardziej, na ich powierzchni

at the edge of growth rings, with its thinner cell walls, was deformed at times of moisture changes by the pressure of the mechanically stronger latewood. Moreover, the ground tends to stick better to porous, hardwood, while it disjoints easily from dense latewood. This type of damages appeared at the very end of the climate change simulation process.

Initial stages of clearly visible damage to the paint layers were observed in the contemporary model panels, analogical to those found in historic paintings.

It can be supposed that similar damages to outer technological layers would appear on the surface of other model panels, proportionally to the growing wood deformation and/or with the growing number of ageing cycles in the climate chamber.

In the course of the optical scanning, it was found that:

- For model supports, the perpendicular distortion ratio across the wood fibres is 1.4 times higher than the similar ratio along the fibres. This result is similar to the one observed with the measurements of historic paintings, where the analogical value was 1.3.
- Cradle battens, both moveable and fixed ones, serve as a barrier against moisture, influencing the wood movement at the point of their adherence to the panel; additionally, certain "flattening" of the panel was noticed within the crossings of slats of the structure.
- Half of the models had the biggest local distortions at the panels' side edges, where the cutting of wood fibres is exposed. In case of original paintings, this result was obtained for all the works measured.
- Bigger local distortions and more frequent cracks are found in the model panels with tangentialcut planks with cradle.
- The best preserved model panels are made from radial-cut planks with cradle.
- The most favourable combination of a support and a cradle is a panel made of radial-cut planks, with a structure featuring an even spread of slats both across and along wood fibres. The width of the spaces between the slats is of lesser importance. While a dense cradle is better at stabilising the panel's shape, panels with a denser cradle of fixed slats (and higher proportion thereof to moveable

pojawiły się również zniszczenia zewnętrznych warstw malarskich.

- Liczba desek podobrazia ma wpływ na kształt powstającej krzywizny.
- Powierzchnia wszystkich modeli z konstrukcją parkietażową odkształciła się, tworząc wklęsłości ponad nieruchomymi listwami i wybrzuszenia pomiędzy nimi.

Wnioski

Po ścienieniu i wyprostowaniu zabytkowego podobrazia parkietaż, zaraz po jego założeniu, zmniejszał deformacje całej płaszczyzny tablicy. Obraz, który przed zabiegiem często nie mógł być oprawiony w ramy z powodu wygięcia powierzchni, stawał się płaski. Dodatkowo lokalne naprawy podobrazia wykonane przed założeniem parkietażu były zabezpieczone od spodu za pomocą przyklejonych listew, co zapobiegało ponownemu uszkodzeniu w tym miejscu. Zabieg dawał spektakularne efekty.

Po pomiarach powierzchni modeli tablic przed symulacją wahań klimatycznych wiemy jednak, że powodował powstawanie specyficznych, niewielkich odkształceń lokalnych, niewidocznych gołym okiem, które z czasem powiększały się, doprowadzając do znacznej deformacji płaszczyzny obrazu.

Powtarzające się zmiany mikroklimatu w miejscach przechowywania obrazów prowadziły do powstawania zniszczeń zarówno drewna podobrazia, jak i gruntu oraz warstwy malarskiej. Zniszczenia takie zaobserwowano zarówno w postarzanych mikroklimatycznie modelach podobrazi, jak i obiektach zabytkowych.

Należy przypuszczać, że znaczne pogorszenie się stanu zachowania obrazów z parkietażem nastąpiło w momencie wprowadzenia do budynków centralnego ogrzewania; od tego czasu w sezonie grzewczym wilgotność względna powietrza wyraźnie spadała, a poza nim rosła²⁶.

Podobrazia z parkietażem mają znaczący udział w kolekcjach malarstwa tablicowego w polskich muzeach. Najczęściej są to obrazy namalowane na tablicach dębowych, z dominacją parkietaży płaskich wykonanych z miękkich gatunków iglastych: sosny i świerka. Konstrukcje parkietażowe w powiązaniu z warunkami mikroklimatycznymi, w jakich ones) tend to produce most cracks. Cracks may also appear in the areas where the battens were fixed to the panel, and not only between them.

- As a result of changing micro-climate conditions, the panels may produce cracks within the fixed cradle slats (more tests would be necessary).
- The models without a cradle were distorted over twice as much, with additional damage to their outer paint layers.
- The number of planks of a support has an impact on the shape of the newly formed curve.
- The surface of all the models with cradle underwent distortions, with concave spaces above fixed battens and bulges between them.

Conclusions

After the thinning and straightening of a historic support, a cradle, upon its mounting, reduced deformation of the entire panel surface. The painting, which often could not be framed before such an operation due to a curved surface, received a flat surface. Additionally, local repairs of the support made before the mounting of the cradle were secured by the battens fixed on the reverse, which prevented further damage in the same place. The whole intervention gave spectacular effects.

After measurements of model panels surfaces before the climate simulation it is clear, however, that the same intervention led to specific, small local distortions, which were first only microscopic, but grew over time leading to substantial deformation of the painting's surface.

The recurrent changes of the micro-climate at the painting storage places caused damage both to the support's wood and to the ground and the paint layer. Such damage has been observed both in the climateaged model panels and in historic paintings.

Supposably, the preservation status of cradled works suffered considerably at the moment when central heating was introduced to storage buildings; since that time, relative air humidity in the heating season decreased substantially, and grew rapidly after the season's end²⁶.

Cradled supports represent a high proportion in the panel painting collections at Polish museums. These are most frequently paintings made on oak panels, przechowywane są obrazy, wpływają na ich stan zachowania, który na ogół nie jest dobry. Z analizy odkształceń obrazów zabytkowych wynika, że na stan zachowania warstwy malarskiej nie ma wpływu sprawność parkietażu, ale sama jego obecność.

W wyniku obserwacji zabytkowych obrazów oraz modeli podobrazi w trakcie symulacji wahań klimatu zauważono, że wszelkie uszkodzenia struktury drewna rozpoczynały się od krawędzi desek (gdzie odsłonięte są poprzecinane włókna drewna), czyli od ich przekrojów poprzecznych, i stopniowo powiększały się wzdłuż. Dopiero dalsze cykle zmian mikroklimatu doprowadzały do powstania pęknięć na powierzchni desek, czyli na przekrojach wzdłużnych (głównie podobrazi stycznych), a następnie szybkiego powiększania się tych uszkodzeń.

Mimo ograniczonej puli zbadanych obiektów wydaje się, że najprostszym sposobem ograniczenia negatywnych skutków zmian mikroklimatu jest zabezpieczenie krawędzi bocznych obrazu oraz części czołowych listew parkietażu (tam, gdzie poprzecinane są włókna drewna) przed wymianą wilgoci z otoczeniem. Uchroni to obraz przed największymi deformacjami, które występują właśnie przy tych krawędziach oraz przed pękaniem drewna podobrazia. Barierą przeciwwilgociową może być farba olejna, lakier lub inna substancja o wysokim oporze dyfuzyjnym pary wodnej. Oprawa obrazu w ramę, której felc zachodzi również na listwy parkietażu, może zabezpieczyć obiekt przed dalszą destrukcją. Ograniczenie zmian wymiarowych drewna obiektu przyczyni się automatycznie do minimalizowania negatywnych reakcji warstw technologicznych od strony lica obrazu.

Aby przeciwdziałać deformacji podobrazia, należałoby również wyrównać dostęp wilgoci od strony odwrocia, w miejscach z listwami i bez listew parkietażu. W tym celu można pomiędzy listwami kratownicy konstrukcji zamontować płytki izolacyjne lub całe odwrocie obiektu zasłonić płytą, niepodatną na zmiany wilgotności, zmniejszającą oddziaływanie mikroklimatu na drewno obiektu²⁷.

Rozwiązania takie nie wymagają żadnych drastycznych, długotrwałych i ryzykownych zabiegów. Nie poprawią stanu zachowania obiektu, jednak przyczynią się do utrzymania go w dotychczasowej kondycji do momentu podjęcia kompleksowych zabiegów konserwatorskich. usually with flat cradle made of soft coniferous wood: pine and spruce. The cradle structures combined with the micro-climate conditions at storage influence the often deficient preservation status of the works. Analysis of deformation of historic paintings shows that the preservation of the paint layer depends on the very presence of cradle, rather than on its efficiency.

In the course of observation of historic paintings and new model panels, during a simulation of climate changes, it was noticed that all distortions of the wood structure started at the edge of planks (where an intersection of wood fibres is exposed), i.e. from their cross-section, and then gradually grew along. Only the further cycles of micro-climate changes led to cracks on the surface of planks, i.e. on longitudinal sections (mainly in supports with a tangential structure of planks), and then to a fast growth of such distortions.

Despite a limited pool of objects under study, it seems that the simplest way to limit the negative impact of micro-climate changes is to secure the side edges of paintings and of faceplate parts of cradle slats (where the wood fibres had been cut) before the exchange of humidity with the environment. This would protect a painting from the biggest distortions (occurring at these edges) and from the cracking of the support. The moisture barrier can be provided by an oil paint, varnish or another substance with a high diffusion resistance to vapor. Framing the painting, with the frame rim overlapping cradle slats, can further protect the object. Limiting the dimension changes of the wood used in the work of art will automatically lead to minimising the negative reactions of technological layers on the painting surface.

In order to counteract the support distortions, exposure to moisture should be more even from the reverse side (at the points with and without cradle slats). To this purpose, insulation tiles could be mounted between the slats of a grid, or alternatively, the whole reverse can be covered with a board that would not be susceptible to moisture changes and would thus reduce the micro-climate impact on the object's wood²⁷.

Suggested solutions do not require any radical, long-term or high risk measures. They would not improve the state of preservation of an art object, but would help retain its present state until a complex conservation treatment is undertaken.

Dr Aleksandra Trochimowicz – ukończyła Wydział Konserwacji i Restauracji Dzieł Sztuki ASP w Warszawie w 2001 r. Pracę dyplomową, za którą otrzymała wyróżnienie rektorskie, obroniła w Katedrze Konserwacji i Restauracji Malarstwa Ściennego. Od 1996 r. brała udział w wielu pracach związanych z konserwacją dzieł sztuki, przede wszystkim malarstwa ściennego i sztalugowego, a także mozaiki, stiuków i przedmiotów rzemiosła artystycznego. Od 1998 r. współpracuje z misjami archeologicznymi UW na Bliskim Wschodzie: w Syrii, Egipcie, Libanie. Uczestniczyła także w misji francusko-egipskiej w Egipcie. Od 2004 r. współpracuje z Pracownią Konserwacji Zabytków na Zamku Królewskim w Warszawie, od 2009 r. z pracownią w Muzeum Powstania Warszawskiego, a od 2016 r. z Biurem Stołecznego Konserwatora Zabytków. Konserwuje zabytki polskie poza granicami kraju: na Ukrainie, Łotwie, w Turcji, Szwajcarii. W 2015 r. obroniła pracę doktorską pt. Wpływ parkietaży na odkształcenia podobrazi drewnianych i stan zachowania warstw malarskich na Wydziale Technologii Drewna SGGW.

Przypisy

- 1 Artykuł został napisany na podstawie dysertacji doktorskiej autorki pt. Wpływ parkietaży na odkształcenia podobrazi drewnianych i stan zachowania warstw malarskich, która została obroniona w 2015 r. w SGGW w Warszawie na Wydziale Technologii Drewna. Promotorem pracy był prof. dr hab. inż. Paweł Kozakiewicz, recenzentami – prof. dr hab. Wojciech Kurpik z Wydziału Konserwacji i Restauracji Dzieł Sztuki ASP w Warszawie oraz prof. dr hab. Adam Krajewski z Wydział Technologii Drewna SGGW.
- 2 W. Ślesiński, Konserwacja zabytków sztuki, t. 1, Warszawa 1995, s. 26.
- **3** U. Schiessl, History of structural panel painting conservation in Austia, Germany, and Switzerland, [w:] The Structural Conservation of Panel Paintings: Proceedings of a Symposium at the J. Paul Getty Museum, April 1996, Los Angeles 1998, s. 200.
- 4 L. Uzielli, Historical overview of panel-making techniques in central Italy, [w:] The Structural Conservation of Panel Paintings: Proceedings of a Symposium at the J. Paul Getty Museum, April 1996, Los Angeles 1998, s. 110-135.
- **5** S. Bobak, A flexible unattached auxiliary support, [w:] The Structural Conservation of Panel Paintings: Proceedings of a Symposium at the J. Paul Getty Museum, April 1996, Los Angeles 1998, s. 371-372.
- 6 A. Brewer, C. Forno, *Moiré fringe analysis of cradled panel paintings*, "Studies in Conservation" 1997, nr 42, s. 211-230.
- 7 Były to wszystkie obrazy w parkietażem z Magazynu Malarstwa Obcego w MNW oraz ze zbiorów Zamku Królewskiego w Warszawie.
- 8 Obrazy z parkietażami miały bardzo różne wymiary. Możliwe było wytypowanie tylko 10 obiektów podobnej wielkości.
- 9 Modele podobrazi wykonano na podstawie analizy 10 możliwie jednorodnych podobrazi zabytkowych, mierzonych na wcześniejszym etapie badań skanerem optyczny, i przyjęto dla nich uśrednione wartości wymiarowe. Dokładny opis znajduje się w dalszej części artykułu.

Dr Aleksandra Trochimowicz - graduated from the Faculty of Conservation and Restoration of Works of Art of the Academy of Fine Arts in Warsaw in 2001. She defended her degree dissertation at the Department of Conservation and Restoration of Wall Painting and was awarded a Dean's Prize. Since 1996 she has taken part in numerous projects related to art conservation, mainly wall and easel painting, as well as mosaic, stucco, and artistic craft. Since 1998 she has worked together with Warsaw University's archeological missions in the Middle East: Syria, Egypt, and Lebanon. She has also taken part in a French-Egyptian mission in Egypt. Since 2004 she has worked together with the Warsaw Royal Castle Art Conservation Studio, since 2009 - with a studio at the Warsaw Rising Museum, and since 2016 – with the Warsaw Municipal Office for Heritage Protection. She has been protecting Polish historic objects abroad: in Ukraine, Latvia, Turkey, Switzerland. In 2015, she presented her PhD dissertation: Wpływ parkietaży na odkształcenia podobrazi drewnianych i stan zachowania warstw malarskich (The influence of cradle on the deformation of panel painting and condition of paint layer) at the Faculty of Wood Technology of the Warsaw University of Life Sciences.

Endnotes

- 1 The article was based on the author's PhD dissertation: Wpływ parkietaży na odkształcenia podobrazi drewnianych i stan zachowania warstw malarskich, presented at the Faculty of Wood Technology of the Warsaw University of Life Sciences (SGGW) in 2015. The Promotor of the dissertation was prof. eng. Paweł Kozakiewicz, and reviewers were prof. Wojciech Kurpik of the Faculty of Conservation and Restoration of Works of Art of the Academy of Fine Arts in Warsaw and prof. Adam Krajewski of the Faculty of Wood Technology SGGW.
- 2 W. Ślesiński, Konserwacja zabytków sztuki, vol. 1, Warszawa 1995, p. 26.
- **3** U. Schiessl, History of structural panel painting conservation in Austia, Germany, and Switzerland, [in:] The Structural Conservation of Panel Paintings: Proceedings of a Symposium at the J. Paul Getty Museum, April 1996, Los Angeles 1998, p. 200.
- 4 L. Uzielli, Historical overview of panel-making techniques in central Italy, [in:] The Structural Conservation of Panel Paintings: Proceedings of a Symposium at the J. Paul Getty Museum, April 1996, Los Angeles 1998, pp. 110-135.
- **5** S. Bobak, A flexible unattached auxiliary support, [in:] The Structural Conservation of Panel Paintings: Proceedings of a Symposium at the J. Paul Getty Museum, April 1996, Los Angeles 1998, pp. 371-372.
- 6 A. Brewer, C. Forno, *Moiré fringe analysis of cradled panel paintings*, "Studies in Conservation" 1997, no. 42, pp. 211-230.
- 7 These were all the cradled paintings from the Foreign Painting Storage of the National Museum in Warsaw, and from the collection of the Royal Castle in Warsaw.
- 8 Dimensions of cradled paintings varied significantly. It was only possible to select 10 objects of similar size.
- **9** Model panels were based on an analysis of 10 possibly similar historic panels, measured with an optical scanner at an earlier stage of the study. For the model panels, average dimension values were assumed. An exact description can be found further in the article.

- 10 U. Schiessl, History of structural panel painting conservation in Austia, Germany, and Switzerland, [w:] The Structural Conservation of Panel Paintings: Proceedings of a Symposium at the J. Paul Getty Museum, April 1996, Los Angeles 1998, s. 200--201.
- 11 J. Marette, Connaissance des primitifs par l'étude du bois du XII^e Au XVI^e siècle, Paris 1961, s. 168; J. Wadum, Historical overview of panel-making techniques in northern countries, [w:] The Structural Conservation of Panel Paintings..., s. 150.
- 12 Wstępne wyniki badań zostały zaprezentowane przez autorkę w referacie pt. Wpływ konstrukcji parkietażowej i mikroklimatu pomieszczeń ekspozycyjnych i magazynowych na stopień zniekształcenia i stan zachowania wybranych obrazów tablicowych na międzynarodowej konferencji "Drewno Zabytkowe: Badania i Konserwacja w XXI wieku", która odbyła się w Muzeum Narodowym w Warszawie w dniach 28-30 października 2013 r. Materiały z tej konferencji nie zostały opublikowane.
- 13 F. Krzysik, Nauka o drewnie, Warszawa 1975, s. 403-407.
- 14 A. Trochimowicz, I. Swaczyna, Species of wood used in cradle structures, "Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW, Forest and Wood Technology" 2010, no. 72, s. 387.
- **15** Badania mikroklimatu w Magazynie Malarstwa Muzeum Narodowego w Warszawie pochodzą z okresu od 6.02.2008 do 23.08.2011.
- 16 F. Krzysik, K. Sobczak, Wilgotność drewna w pomieszczeniach ogrzewanych centralnie, "Sylwan" 1960, nr 9, s. 30.
- 17 W.T. Simpson, Equilibrium moisture content of wood in outdoor locations in the United States and Worldwide, Wisconsin 1998, S. 1.
- **18** Odkształcenie policzono wg wzoru:
 - ϵ_1 odkształcenie w poprzek włókien = f / s×100%
 - ϵ_2 odkształcenia wzdłuż włókien = f / h×100%

gdzie: f – maksymalne odkształcenie prostopadłe do płaszczyzny [mm],

s – wymiar obrazu w poprzek włókien desek podobrazia (największej jego szerokości) [mm],

h – wymiar obrazu wzdłuż włókien desek podobrazia (największej jego wysokości) [mm].

- 19 A. Trochimowicz, Pomiary krzywizny powierzchni malowidła skanerem optycznym Atos na przykładzie kopii obrazu Petera Paula Rubensa "Znalezienie Erichtoniosa" ze zbiorów Muzeum Narodowe w Warszawie, "Ochrona Zabytków" 2013, nr 1/4, s. 123-128.
- 20 Dokładne wymiary geometryczne (rozstaw listew nieruchomych i ruchomych oraz wymiary przekroju) można znaleźć w pracy doktorskiej autorki, s. 70-74.
- 21 Rozmieszczenie listew parkietażu określono jako rzadkie przy odstępach pomiędzy nieruchomymi listwami powyżej 8 cm. W wypadku listew ruchomych określenie rzadkie użyto w wypadku, kiedy odległość pomiędzy nimi była większa niż 1,5 odległości pomiędzy listwami nieruchomymi.
- 22 A. Sztyrak, Badanie współczynnika oporu dyfuzyjnego powłok malarskich, Warszawa 1975, mps w Bibliotece SGGW w Warszawie.
- 23 Oryginalne tablice przed zabiegiem prostowania i przyklejania parkietażu były ścienianie o około połowę. Informacje na ten temat można znaleźć w: M. Kozohorska, Badania nad podobraziami drewnianymi ze względu na ich odkształcenia w zmiennym klimacie, niepublikowana praca magisterska, Warszawa 1986, mps w Bibliotece SGGW w Warszawie; P.P. Monfardini, Structural and Climate Control Systems for Thinned Panel Paintings, [w] Facing the Challenges of

- **10** U. Schiessl, History of structural panel painting conservation in Austria, Germany, and Switzerland, [in:] The Structural Conservation of Panel Paintings: Proceedings of a Symposium at the J. Paul Getty Museum, April 1996, Los Angeles 1998, pp. 200-201.
- 11 J. Marette, Connaissance des primitifs par l'étude du bois du XIIe Au XVIe siècle, Paris 1961, p. 168; J. Wadum, Historical overview of panel-making techniques in northern countries, [in:] The Structural Conservation of Panel Paintings..., p. 150.
- 12 Initial findings of the study were presented by the author in her paper entitled Wpływ konstrukcji parkietażowej i mikroklimatu pomieszczeń ekspozycyjnych i magazynowych na stopień zniekształcenia i stan zachowania wybranych obrazów tablicowych (Impact of cradle and of the micro-climate of exposition and storage venues on the distortion level and preservation status of selected board paintings) at an international conference "Drewno Zabytkowe: Badania i Konserwacja w XXI wieku", held at the National Museum in Warsaw (28-30 October 2013). Conference materials have not been published.
- **13** F. Krzysik, *Nauka o drewnie*, Warszawa 1975, pp. 403-407.
- 14 A. Trochimowicz, I. Swaczyna, Species of wood used in cradle structures, "Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW, Forest and Wood Technology" 2010, no. 72, p. 387.
- **15** Micro-climate studies conducted at the Paintings Storage of the National Museum in Warsaw come from the period of 6th Feb 2008 to 23rd Aug 2011.
- 16 F. Krzysik, K. Sobczak, Wilgotność drewna w pomieszczeniach ogrzewanych centralnie, "Sylwan" 1960, no. 9, p. 30.
- 17 W.T. Simpson, Equilibrium moisture content of wood in outdoor locations in the United States and Worldwide, Wisconsin 1998, p. 1.
- 18 The distortion was calculated as per the following formula: $\epsilon_{\rm c}$ distortion across fibres = f / s×100%
 - ε_2 distortion along fibres = f / h×100%
 - where: f maximum distortion perpendicular to surface [mm],
 - s painting dimension across the fibres of panel planks (at maximum width) [mm],
 - h painting dimension along the fibres of panel planks (at maximum height) [mm].
- 19 A. Trochimowicz, Pomiary krzywizny powierzchni malowidła skanerem optycznym Atos na przykładzie kopii obrazu Petera Paula Rubensa "Znalezienie Erichtoniosa" ze zbiorów Muzeum Narodowe w Warszawie, "Ochrona Zabytków" 2013, no. 1/4, pp. 123-128.
- **20** Exact geometric dimensions (position of fixed and moveable slats and cross-section's dimensions) can be found in the author's PhD dissertation, pp. 70-74.
- **21** Cradle structure was defined as 'loose' with fixed slats set apart by more than 8 cm. In the case of moveable slats the 'loose' structure was defined when space between them was bigger than 1.5 of the space value between fixed slats.
- **22** A. Sztyrak, Badanie współczynnika oporu dyfuzyjnego powłok malarskich, Warszawa 1975, typescript at the SGGW Library in Warsaw.
- **23** Original panels, prior to straightening and cradle mounting, were thinned approximately by half. Relevant information can be found at: M. Kozohorska, Badania nad podobraziami drewnianymi ze względu na ich odkształcenia w zmiennym klimacie, unpublished MA dissertation, Warsaw 1986, typescript at the SGGW Library in Warsaw; P.P. Monfardini, Structural and Climate Control Systems for Thinned Panel Paintings, [in:] Facing the Challenges of Panel Paintings

Panel Paintings Conservation: Trends, Treatments and Training: Proceedings of a Symposium at the J. Paul Getty Museum, The Getty Conservation Institute, Los Angeles 2013, s. 49.

24 W malarstwie sztalugowym od XVII w. najczęściej stosowano technikę olejną, szczególnie w północnej Europie. Twierdzenie to potwierdza sposób malowania wybranych obrazów. Zob.: W. Ślesiński, *Techniki malarskie, spoiwa organiczne*, t. 1, Warszawa 1984, s. 132.

25 A. Brewer, C. Forno, jw.

26 P. Kozakiewicz, M. Matejak, Klimat a drewno zabytkowe – dawna i współczesna wiedza o drewnie, Warszawa 2013, s. 44.
27 PP. Monfardini, jw., s. 55.

Conservation: Trends, Treatments and Training: Proceedings of a Symposium at the J. Paul Getty Museum, The Getty Conservation Institute, Los Angeles 2013, p. 49.

24 Since the 17th century, the oil-based technique was most frequently used in easel painting, particularly in Northern Europe. This is confirmed by the painting technique applied in selected works. See: W. Ślesiński, *Techniki malarskie, spoiwa organiczne*, vol. 1, Warszawa 1984, p. 132.

25 A. Brewer, C. Forno, op. cit.

26 P. Kozakiewicz, M. Matejak, Klimat a drewno zabytkowe – dawna i współczesna wiedza o drewnie, Warszawa 2013, p. 44.
27 PP. Monfardini, op. cit., p. 55.

Bibliografia / Bibliography

- Brewer A., Forno C., *Moiré fringe analysis of cradled panel paintings*, "Studies in Conservation" 1997, no. 42.
- Kosiorek A., Ważny T., Gatunki drewna stosowane w ikonach karpackich, "Ochrona Zabytków" 1997, nr 50 (3).
- Marette J., Connaissence des primitivs par letude du bois du XII^e Au XVI^e siecle, Paris 1961.
- Schiessl U., History of structural panel painting conservation in Austia, Germany, and Switzerland, [w:] Dardes K., Rothe A. (red.), The Structural Conservation of Panel Paintings: Proceedings of a Symposium at the J. Paul Getty Museum, April 1996, Los Angeles 1998.
- Sztyrak A., Badanie współczynnika oporu dyfuzyjnego powłok malarskich, niepublikowana, Warszawa 1975, mps w Bibliotece SGGW w Warszawie.
- Ślesiński W., Techniki malarskie, spoiwa organiczne, Warszawa 1984.

- Trochimowicz A., Pomiary krzywizny powierzchni malowidła skanerem optycznym Atos na przykładzie kopii obrazu Petera Paula Rubensa "Znalezienie Erichtoniosa" ze zbiorów Muzeum Narodowe w Warszawie, "Ochrona Zabytków" 2013, nr 1/4.
- Trochimowicz A., Swaczyna I., Species of wood used in cradle structures, [w:] Dobrowolska E., Zbieć M. (red.), Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW, Forest and Wood Technology No 72, Warszawa 2010.
- Uzielli L., Historical overview of panel-making techniques in central Italy, [w]: Dardes K., Rothe A. (red.), The Structural Conservation of Panel Paintings: Proceedings of a Symposium at the J. Paul Getty Museum, April 1996, Los Angeles 1998.
- Wadum J., Historical overview of panel-making techniques in northern countries, [w]: Dardes K., Rothe A. (red.), The Structural Conservation of Panel Paintings: Proceedings of a Symposium at the J. Paul Getty Museum, April 1996, Los Angeles 1998.