



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΤΕΧΝΩΝ ΚΑΙ ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ
ΤΜΗΜΑ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΑΡΧΑΙΟΤΗΤΩΝ ΚΑΙ ΕΡΓΩΝ ΤΕΧΝΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Απομάκρυνση Γηρασμένων Επικαλυπτικών
Υλικών από Φορητές Εικόνες μέσω Εφαρμογής
Επιλεγμένων Συστημάτων Γελών



ΔΗΜΑΚΗ ΜΑΡΙΝΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ

Α.Μ.: 52016024

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΜΑΣΤΡΟΘΕΟΔΩΡΟΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

Ιούλιος 2023, Αθήνα



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΤΕΧΝΩΝ ΚΑΙ ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ
ΤΜΗΜΑ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΑΡΧΑΙΟΤΗΤΩΝ ΚΑΙ ΕΡΓΩΝ ΤΕΧΝΗΣ

**Απομάκρυνση Γηρασμένων Επικαλυπτικών Υλικών από Φορητές
Εικόνες μέσω Εφαρμογής Επιλεγμένων Συστημάτων Γελών**

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:

α/α	ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ	ΙΔΙΟΤΗΤΑ/ΒΑΘΜΙΔΑ	ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ
1	Μαστροθεόδωρος Γεώργιος	Επιβλέπων / Επίκουρος Καθηγητής	
2	Πούρνου Αναστασία	Μέλος Εξ. Επιτροπής / Καθηγήτρια	
3	Ράπτη Σταυρούλα	Μέλος Εξ. Επιτροπής /Εργαστηριακό Διδακτικό Προσωπικό	

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ/ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κάτωθι υπογεγραμμένη Δημάκη Μαρίνα Παρασκευή, με αριθμό μητρώου 52016024 φοιτήτρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Εφαρμοσμένων Τεχνών και Πολιτισμού του Τμήματος Συντήρησης Αρχαιοτήτων και Έργων Τέχνης, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής/διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Η Δηλούσα



ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε στο Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής, στο τμήμα Συντήρησης Αρχαιοτήτων και Έργων Τέχνης. Αρχικά, θα ήθελα να αποδώσω θερμές ευχαριστίες σε όλους τους καθηγητές που συνέβαλλαν στη διεκπεραίωση της παρούσας πτυχιακής, αλλά ιδιαίτερα στον επιβλέποντα καθηγητή μου, κο. Γεώργιο Μαστροθεόδωρο για τη βοήθεια, τη συμβολή του, αλλά και για το ευχάριστο κλίμα της συνεργασίας μας καθ' όλη τη διάρκεια της έκβασης της εργασίας, καθώς επίσης και για τον εντοπισμό και την παραχώρηση των δύο έργων που χρησιμοποιήθηκαν για την παρούσα πτυχιακή εργασία. Επίσης, θερμές ευχαριστίες στον κο. Μπογιατζή Σ. (Καθηγητή στο ΠΑΔΑ) για τη βοήθεια εφαρμογής και επεξήγησης των αποτελεσμάτων των φασματοσκοπικών τεχνικών FTIR και ATR-FTIR, αλλά πρωτίστως για την παραχώρηση υλικών της προσωπικής του συλλογής, χωρίς τα οποία δε θα είχε καταστεί εφικτή η παρασκευή και χρήση του ενός εκ των συστημάτων γελών που χρησιμοποιήθηκαν. Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω την κα. Καμινάρη Α. (Επιστημονική συνεργάτις στο ΠΑΔΑ) για τη βοήθεια εφαρμογής της απεικονιστικής μεθόδου υπεριώδους φωτογραφίας φθορισμού, την κα. Αλεξοπούλου Α. (Καθηγήτρια στο ΠΑΔΑ) για την επανειλημμένη διάθεση χώρου και εργαστηριακού εξοπλισμού, καθώς και για την υποστήριξή της και τέλος την κα. Κόκλα Β. (Επίκουρη καθηγήτρια στο ΠΑΔΑ) και τον κο. Χούλη Κ. (Καθηγητή στο ΠΑΔΑ) για τη διάθεση υλικών.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται την εφαρμογή συστημάτων γελών για την απομάκρυνση οξειδωμένων επικαλυπτικών υλικών (βερνικιών) από φορητές θρησκευτικές εικόνες. Οι γέλες χρησιμοποιούνται ήδη περίπου 40 χρόνια στο πεδίο της συντήρησης, εντούτοις εξακολουθούν να θεωρούνται καινοτόμες. Ως αντικείμενο, είναι διαρκώς εξελισσόμενο, καθώς νέα είδη συστημάτων γελών συντίθενται και αξιολογούνται ως υλικά συντήρησης μέχρι και σήμερα. Στον ελλαδικό χώρο η χρήση τους στον τομέα της συντήρησης αντικειμένων πολιτιστικής κληρονομιάς είναι αναγνωρισμένη, αλλά παραμένει περιορισμένη. Ιδιαίτερα όσον αφορά τη χρήση τους στον καθαρισμό θρησκευτικών φορητών εικόνων, διαπιστώνεται σημαντική έλλειψη σχετικής βιβλιογραφίας (ελληνικής και διεθνούς), παρατήρηση που αποτέλεσε το έναυσμα για την υλοποίηση της παρούσας εργασίας. Έτσι, πραγματοποιείται μελέτη δύο όψιμων (19^{ου} αιώνας) φορητών εικόνων και επιχειρείται αφαίρεση των οξειδωμένων επικαλυπτικών υλικών τους με χρήση επιλεγμένων συστημάτων γελών, ήτοι Γελών Πολυακρυλικού Οξέος και Πολυμερικών Διασπορών Υψηλού Ιξώδους Μερικώς Υδρολυμένου Οξικού Πολυβινυλεστέρα (PVAc) με Βόρακα. Στο πλαίσιο αυτό αξιοποιήθηκαν: μακροσκοπική και στερεοσκοπική παρατήρηση, απεικονιστικές και φυσικοχημικές μέθοδοι διάγνωσης, προκειμένου να αξιολογηθούν τόσο τα επιλεγμένα έργα όσο και η εφαρμογή των συστημάτων γελών. Συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκε φωτογράφιση των έργων υπό το ορατό φάσμα ακτινοβολίας, καθώς και απεικόνιση της ορατής φωταύγειας των επικαλυπτικών με διέγερση υπεριώδους ακτινοβολίας (Ultraviolet Induced Luminescence ή UVL imaging). Επιπλέον, αξιοποιήθηκαν οι τεχνικές εξέτασης: Φασματοσκοπία Φθορισμού Ακτίνων Χ (XRF spectroscopy), Φασματοσκοπία Υπερύθρου Μετασχηματισμού Fourier (FTIR spectroscopy) με τις μεθόδους της Ανάκλασης (Reflectance) και Αποσβένουσας Ολικής Ανάκλασης (Attenuated Total Reflectance) και, τέλος, Χρωματομέτρηση. Μέσω της φασματοσκοπίας FTIR διαπιστώθηκε ότι το επικαλυπτικό υλικό και στις δύο περιπτώσεις αποτελεί ελαιοβερνίκι λινελαίου με διτερπενική ρητίνη (ενδεχομένως σανδράχη). Ύστερα από δοκιμές διαλυτότητας (test Feller) στα επικαλυπτικά και βάσει βιβλιογραφικής μελέτης, διερευνήθηκε η χρήση των προαναφερθέντων συστημάτων γελών. Διαπιστώθηκε, πως παρότι η φύση των επικαλυπτικών ήταν ίδια, η δράση των συστημάτων και τα αποτελέσματά τους διέφεραν, ενώ το ίδιο παρατηρήθηκε και μεταξύ των διαφορετικών χρωματικών περιοχών στο κάθε αντικείμενο. Η χρήση των γελών πολυακρυλικού οξέος παρουσίασε προβλήματα και στις δύο περιπτώσεις, καθιστώντας τις μη κατάλληλη επιλογή, με εξαίρεση ορισμένες χρωματικές περιοχές της μίας εικόνας. Τα συστήματα PVAc-βόρακα παρουσίασαν θετικά αποτελέσματα στο ένα έργο, επιτρέποντας μάλιστα την μερική αφαίρεση του επικαλυπτικού υλικού, ενώ στο άλλο έργο τα αποτελέσματα ήταν αποθαρρυντικά. Σε περιοχές όπου η χρήση των γελών κρίθηκε μη ικανοποιητική, πραγματοποιήθηκαν περιορισμένης έκτασης δοκιμές με «παραδοσιακές» μεθόδους καθαρισμού και διαπιστώθηκε ότι τα αποτελέσματα ήταν όμοια ή και καλύτερα. Τέλος, πραγματοποιήθηκε συγκριτική αποτίμηση των μεθόδων που εφαρμόστηκαν, μέσω της οποίας προκύπτει, συνοπτικά και μεταξύ άλλων, ότι: α) τα συστήματα γελών δεν αποτελούν πανάκεια, καθώς η αποτελεσματικότητα της χρήσης τους εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, β) οι γέλες πολυακρυλικού οξέος, αν και αποτελούν εξαιρετικό «εργαλείο», συνοδεύονται από μειονεκτήματα που συχνά αποτελούν εμπόδιο στη χρήση τους, γ) τα συστήματα PVAc-βόρακα, παρότι εμφανίζουν περιορισμούς στη χρήση τους, είναι ικανά να δώσουν αξιόλογα αποτελέσματα, δ) συχνά οι «παραδοσιακές» μέθοδοι καθαρισμού αποτελούν καταλληλότερη επιλογή για τις απαιτήσεις κάποιων επεμβάσεων καθαρισμού.

Λέξεις κλειδιά: Καθαρισμός, βερνίκι, γέλες, γέλες διαλυτών, Carborol, πολυμερικές διασπορές υψηλού ιξώδους, οξικός πολυβινυλεστέρας, πολυβινυλική αλκοόλη, βόρακας.

ABSTRACT

The present thesis deals with the application of gel systems for the removal of oxidized coating materials (varnishes) from portable religious panel paintings (“icons”). Gels have been used in the field of conservation for about 40 years, yet are still considered an innovation. The field of gel application in conservation is constantly evolving as new types of gel systems are being developed and evaluated as conservation materials up to the present day. In Greece, their use in the conservation of cultural heritage objects is well recognized, yet still remains rather limited in every-day practice. Particularly regarding their use in the cleaning of icons, there is a significant lack of relevant literature (both Greek and international), an observation which served as the motivation for the current study. Thus, a study of two late (19th-century) portable icons was conducted, and the removal of their oxidized varnishes was attempted using the selected gel systems, namely Polyacrylic Acid Gels and High Viscosity Polymeric Dispersions of Partially Hydrolyzed Polyvinyl Acetate (PVAc) with Borax. In this context, macroscopic and stereoscopic examination, imaging techniques and physicochemical diagnostic methods were employed in order to evaluate both the selected artifacts and the efficacy of gel systems application. Specifically, Visible Light imaging and Ultraviolet Induced Luminescence imaging techniques were performed. Additionally, analytical techniques such as X-ray Fluorescence (XRF) spectroscopy, Fourier Transform Infrared (FTIR) spectroscopy in Reflectance and Attenuated Total Reflectance (ATR) modes, and, finally, Colorimetry were employed. Through FTIR spectroscopy, the coating material in both cases was found to be an oil varnish consisting of linseed oil and a diterpenic resin (possibly sandarac). After preliminary solubility tests (Feller test) on the coatings and on the basis of the pertinent literature review, the use of the aforementioned gel systems was investigated. It was found that although the nature of the coatings was the same, the action of the gel systems and their results differed, while the same was observed among the different color areas in each object. The use of the polyacrylic acid gels presented problems in both cases, making them an unsuitable choice, except for some color areas of one of the icons. The PVAc-borax gels yielded positive results in the one artwork, allowing the partial removal of the varnish, while the results in the other one were discouraging. In areas where the use of gels was deemed unsatisfactory, tests on small areas were performed with the “traditional” cleaning methods and the results were found to be similar or better. Finally, a comprehensive comparative assessment of the applied methods was carried out, from which it emerges that: a) gel systems are not a panacea, as their effectiveness depends on many factors, b) polyacrylic acid gels, although excellent “tools”, are accompanied by disadvantages that often hinder their use, c) PVAc-borax gels, although they have limitations, are capable of providing valuable results, d) “traditional” cleaning methods are often a more suitable choice for the requirements of some cleaning interventions.

Keywords: Cleaning, varnish, gels, solvent gels, Carbopol, high viscosity polymeric dispersions, poly(vinyl acetate), poly(vinyl alcohol), borax.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	4
ABSTRACT.....	6
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	10
1.1. Σκοπός και στόχοι της εργασίας	10
1.2. Γενικό θεωρητικό υπόβαθρο	11
1.2.1. Κινητά/φορητά ζωγραφικά έργα και θρησκευτικές εικόνες.....	11
1.2.2. Η χρήση επικαλυπτικών υλικών σε κινητά ζωγραφικά έργα	13
1.2.3. Καθαρισμός – Αφαίρεση ρύπων/επικαλυπτικών υλικών	14
1.2.4. Καθαρισμός με χρήση ελεύθερων διαλυτών & Καθαρισμός με υδατικά μέσα.....	16
1.2.5. Γέλες-Καινοτομία στο χώρο της συντήρησης.....	17
1.2.6. Είδη γελών και το ζήτημα των υπολειμμάτων.....	19
1.2.7. Γέλες στη συντήρηση φορητών εικόνων.....	23
1.2.8. Εμβάθυνση στα συστήματα γελών που θα χρησιμοποιηθούν για το πειραματικό μέρος 25	
1.2.8.1. Γέλες πολυακρυλικού οξέος.....	25
1.2.8.2. Πολυμερικές διασπορές υψηλού ιξώδους PVA ή PVAc, με βόρακα.....	27
1.2.9. Μέθοδοι προσδιορισμού αποτελεσματικότητας γελών.....	31
2. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.....	33
2.1. Φορητές εικόνες που θα χρησιμοποιηθούν για το πειραματικό μέρος.....	33
2.1.1. Εικόνα Α.....	34
2.1.2. Εικόνα Β.....	37
2.2. Μέθοδοι διάγνωσης.....	40
2.2.1. Φωτογράφιση	41
2.2.2. Στερεοσκοπική παρατήρηση	41
2.2.3. Φθορισμομετρία Ακτίνων Χ (XRF).....	41
2.2.4. Φασματοσκοπία Υπερύθρου με Μετασχηματισμό Fourier (FTIR)	42
2.2.5. Δοκιμές διαλυτότητας.....	44
2.2.6. Χρωματομέτρηση	46

2.3.	Κριτήρια επιλογής συστημάτων γελών	46
2.4.	Παρασκευή γελών	47
2.5.	Εφαρμογή γελών	51
3.	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ	54
3.1.	Μέθοδοι διάγνωσης	54
3.1.1.	Εικόνα Α	54
3.1.1.1.	Φωτογράφιση UVL	54
3.1.1.2.	Στερεοσκοπική παρατήρηση	55
3.1.1.3.	Φασματοσκοπία Υπερύθρου με Μετασχηματισμό Fourier (FTIR).....	55
3.1.1.4.	Φασματοσκοπία Ακτίνων Χ (XRF).....	57
3.1.1.5.	Δοκιμές διαλυτότητας	59
3.1.1.6.	Χρωματομέτρηση	61
3.1.2.	Εικόνα Β	62
3.1.2.1.	Φωτογράφιση UVL.....	62
3.1.2.2.	Στερεοσκοπική Παρατήρηση	62
3.1.2.3.	Φασματοσκοπία Υπερύθρου με Μετασχηματισμό Fourier (FTIR).....	63
3.1.2.4.	Φασματοσκοπία Ακτίνων Χ (XRF).....	64
3.1.2.5.	Δοκιμές διαλυτότητας	66
3.1.2.6.	Χρωματομέτρηση	68
3.2.	Παρασκευή γελών	68
3.3.	Εφαρμογή γελών και αφαίρεση επικαλυπτικού υλικού	70
3.3.1.	Εικόνα Α	70
3.3.2.	Εικόνα Β	82
3.3.2.1.	Επιλογή βέλτιστης μεθοδολογίας καθαρισμού για την εικόνα Β	88
3.4.	Διερεύνηση ύπαρξης υπολειμμάτων	91
3.5.	Φωτογράφιση των έργων μετά τις επεμβάσεις αφαίρεσης των επικαλυπτικών τους υλικών	92
4.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	95
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	99

Παράρτημα 1 – Πίνακες εικόνων εφαρμογών γελών στην εικόνα Α.....	105
Παράρτημα 2 – Πίνακες εικόνων εφαρμογών γελών στην εικόνα Β.....	108
Παράρτημα 3 – Φάσμα εκπομπής ακτινοβολίας των λαμπτήρων UV.....	111
Παράρτημα 4 – Πληροφορίες υλικών που χρησιμοποιήθηκαν στην παρασκευή των γελών.....	112
Παράρτημα 5 – Υπολογισμός διαλύματος Ακετόνης / Shellsol T 82/18 % v/v	113
Παράρτημα 6 – Επεξήγηση παραμέτρων χρωματομέτρησης	114
Παράρτημα 7 – Ανεπεξέργαστα δεδομένα χρωματομέτρησης.....	115

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Σκοπός και στόχοι της εργασίας

Σε πρώτο επίπεδο, σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη της υπάρχουσας βιβλιογραφίας σχετικά με τα συστήματα γελών που έχουν αναπτυχθεί και εισαχθεί τις τελευταίες δεκαετίες στο επιστημονικό πεδίο της Συντήρησης Αρχαιοτήτων και Έργων Τέχνης διεθνώς, εστιάζοντας στα συστήματα που χρησιμοποιούνται στη συντήρηση ζωγραφικών έργων και ιδιαίτερα στη συντήρηση φορητών θρησκευτικών ζωγραφικών έργων (φορητών εικόνων). Εν είδη εισαγωγής, στο πρώτο μέρος της εργασίας θα γίνει εν συντομία αναφορά στα φορητά ζωγραφικά έργα και τα επικαλυπτικά τους υλικά, καθώς και στις παραδοσιακές μεθόδους καθαρισμού, οι οποίες θα αντιπαρατεθούν στη συνέχεια με τις καινοτόμες μεθόδους καθαρισμού με χρήση συστημάτων γελών.

Με βάση τα αποτελέσματα της βιβλιογραφικής μελέτης, σκοπός είναι να επιλεγθούν ορισμένα συστήματα γελών, να παρασκευαστούν καταλλήλως και να βρεθεί μεθοδολογία για την ασφαλή αφαίρεση των γηρασμένων επικαλυπτικών υλικών από δύο όψιμες μεταβυζαντινές εικόνες του 19^{ου} αιώνα (Εικ. 1.1-1). Η επιλογή των συστημάτων γελών που θα χρησιμοποιηθούν θα γίνει κατά κύριο λόγο με βάση τα πορίσματα της βιβλιογραφικής έρευνας σχετικά με τα συστήματα γελών που έχουν χρησιμοποιηθεί στη συντήρηση φορητών εικόνων, αλλά και με τις ανάγκες και τα χαρακτηριστικά των δύο αντικείμενων και των (προς αφαίρεση) αλλοιωμένων επικαλυπτικών τους υλικών.

Με κατευθυντήρια γραμμή τα παραπάνω, στο πλαίσιο του πειραματικού μέρους τα δύο αντικείμενα θα μελετηθούν σε πρώτη φάση μακροσκοπικά και στερεοσκοπικά, ώστε να διαπιστωθεί η κατάσταση διατήρησής τους. Έπειτα θα αξιοποιηθούν ορισμένες απεικονιστικές και φυσικοχημικές τεχνικές, προκειμένου να ληφθούν σημαντικές πληροφορίες για τα έργα, ιδιαίτερα όσον αφορά τα επικαλυπτικά τους υλικά. Μετά από δοκιμές διαλυτότητας (Test Feller) και με βάση τα χαρακτηριστικά των έργων, θα επιλεγθούν συστήματα γελών, θα παρασκευαστούν και θα πραγματοποιηθεί πειραματική εφαρμογή τους στα δύο έργα για να ελεγχθεί η αποτελεσματικότητά τους αφενός μεν ως προς την αφαίρεση των αλλοιωμένων επικαλυπτικών υλικών, αφετέρου δε ως προς τη δυνατότητα διατήρησης των διαφόρων υποκείμενων του βερνικιού αυθεντικών στρωμάτων των έργων. Επιπλέον, θα επιχειρηθεί να εξετασθεί και το πλήθος/ ποσότητα των υπολειμμάτων που ενδεχομένως εναποτίθενται στα έργα από τα επιλεγμένα συστήματα γελών καθώς και η ευκολία/ δυσκολία απομάκρυνσής τους. Σημειώνεται ωστόσο ότι δεν αποτελεί σκοπό αυτής της εργασίας η πλήρης απομάκρυνση των επικαλυπτικών υλικών από τα επιλεγθέντα έργα.

Μετά το πέρας των πειραματικών δοκιμών και την εύρεση της βέλτιστης μεθοδολογίας, θα πραγματοποιηθούν εκ νέου απεικονιστικές και φυσικοχημικές μέθοδοι διάγνωσης, με σκοπό την τεκμηρίωση και τον περαιτέρω ενδελεχή έλεγχο της έκβασης των δοκιμών και της αποτελεσματικότητάς τους. Στο τέλος, θα γίνει συνολική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων και θα εξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με τη χρήση των συγκεκριμένων συστημάτων στα δύο αντικείμενα, αλλά και σχετικά με τη χρήση τους γενικότερα.

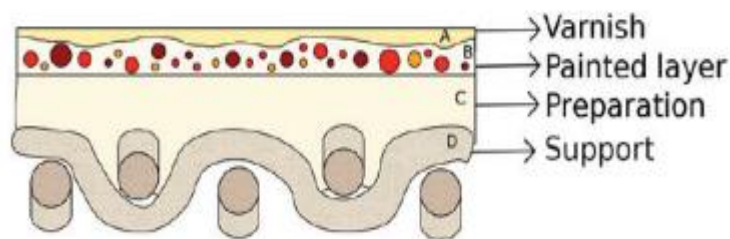


Εικ. 1.1-1. Οι εικόνες που θα χρησιμοποιηθούν στο πλαίσιο της παρούσας πτυχιακής εργασίας.

1.2. Γενικό θεωρητικό υπόβαθρο

1.2.1. Κινητά/ φορητά ζωγραφικά έργα και θρησκευτικές εικόνες

Ως κινητά ζωγραφικά έργα τέχνης νοούνται τα ζωγραφικά έργα που έχουν εκτελεστεί χρησιμοποιώντας ως επί το πλείστον καμβά ή ξύλο ως υποστήριγμα/ φορέα του έργου (όχι όμως αποκλειστικά). Πέρα από το διαφορετικής φύσεως υποστήριγμα, τα έργα αυτά φέρουν παρόμοια υπερκείμενη στρωματογραφία, που αποτελείται συνήθως (από κάτω προς τα πάνω) από ένα στρώμα προετοιμασία, το/τα ζωγραφικό/ά στρώμα/τα και το βερνίκι (Εικ. 1.2.1-1) (Pizzorusso et al., 2012). Κατά περίπτωση, η στρωματογραφία ενδέχεται να φέρει και λιγότερα ή περισσότερα στρώματα από τα προαναφερθέντα, όπως στην περίπτωση των θρησκευτικών εικόνων, που φέρουν επιπλέον στρώματα, όπως π.χ. στρώματα επιχρύσωσης (φύλλου χρυσού επί κατάλληλου συγκολλητικού μέσου) ως μέρος της απεικονιζόμενης παράστασης.



Εικ. 1.2.1-1. Διατομή ενός τυπικού κινητού ζωγραφικού έργου, όπου φαίνεται η τυπική στρωματογραφία. Από πάνω προς τα κάτω: Α. Βερνίκι, Β. Στρώμα ζωγραφικής επιφάνειας, C. Προετοιμασία, D. Υποστήριγμα (συνήθως ξύλο ή καμβάς). Πηγή: Αναπαραγωγή με άδεια από Pizzorusso et al., (2012), *Physicochemical characterization of acrylamide/bisacrylamide hydrogels and their application for the conservation of easel paintings*, *Langmuir*, **28**: 3952-3961. Copyright © 2012 American Chemical Society.

Οι θρησκευτικές εικόνες της Χριστιανικής Ορθόδοξης Εκκλησίας, που συνηθίζεται να εκτελούνται με χρήση αυγοτέμπερας πάνω σε κατάλληλα προετοιμασμένο ξύλινο υποστήριγμα, αποτελούν αντικείμενα λατρείας, ανήκουν στα κινητά ζωγραφικά έργα και μπορούν να χαρακτηριστούν ως μία οπτική έκφραση της Ορθόδοξης πίστης (Vieillescazes et al., 2005; National Gallery of Art, n.d.). Σαφώς βέβαια, όπως είναι γνωστό, θρησκευτική θεματολογία συναντάται επίσης εκτελεσμένη σε σταθερά υποστηρίγματα όπως σε τοίχους εκκλησιών, αποδίδοντας τις γνωστές τοιχογραφίες, καθώς και σε άλλα υποστηρίγματα. Σε αυτές τις περιπτώσεις ωστόσο, συνηθίζεται να απαντώνται μεγαλύτερης κλίμακας έργα. Αντίστοιχα, απαντώνται θρησκευτικές εικόνες και στην Καθολική Εκκλησία. Ωστόσο, οι συνήθειες εικόνες της Καθολικής Εκκλησίας προσομοιάζουν περισσότερο με κλασσικούς πίνακες (φυσιοκρατικής) ζωγραφικής, παρά με τις τυπικές στο πλαίσιο της βυζαντινής/ μεταβυζαντινής ζωγραφικής αυστηρές και στιλιζαρισμένες απεικονίσεις των άγιων μορφών.

Το χαρακτηριστικό που διαφοροποιεί τις Ορθόδοξες θρησκευτικές εικόνες είναι η προσκόλληση στις παραδοσιακές εικονογραφικές μεθόδους. Η σύνθεση, το θέμα, το νόημα και τα αισθητικά κριτήρια καθορίζονται από ένα σύνολο κανόνων που αναπτύχθηκαν ήδη από τον 11^ο -13^ο αι. Μερικοί από τους κανόνες που διέπουν την Ορθόδοξη τέχνη, είναι η σχηματική αναπαράσταση των αντικειμένων και μορφών, η ύπαρξη δύο μόνο διαστάσεων, κλπ. Από την άλλη, η Καθολική τέχνη δεν ακολουθεί αυστηρούς κανόνες, έχει πιο συναισθηματικό και ρεαλιστικό ύφος (Russian Icon Collection, n.d.).

Όσον αφορά την ιστορία των Χριστιανικών εικόνων, συνοπτικά αναφέρεται πως η προέλευσή τους ανάγεται απώτερα στην Ελληνορωμαϊκή παράδοση ζωγραφικής νεκρικών και άλλων πορτρέτων. Καίτοι υφίστανται γραπτές αναφορές περί της χρήσης εικόνων στη λατρεία, δε διασώζονται εικόνες που να χρονολογούνται πριν τον 6^ο αιώνα μ.Χ.. Κατά τον Βοκοτόπουλο (1995), «οι αρχαιότερες σωζόμενες εικόνες έχουν βρεθεί στο Σινά – από όπου μερικές κατέληξαν τον 19^ο αιώνα στο Κίεβο – και στη Ρώμη». Επιπλέον, αν και είναι γνωστό ότι η χρήση εικόνων (αλλά και εν γένει αναπαραστάσεων) απαγορεύτηκε κατά την περίοδο της Εικονομαχίας (8^{ος}-9^{ος} αι.), η παραγωγή τους συνεχίστηκε σε περιοχές έξω από το βυζαντινό κράτος (Βοκοτόπουλος, 1995). Μετά την οριστική αναστήλωση των εικόνων με το τέλος της Εικονομαχίας (842), η χρήση τους αυξήθηκε σημαντικά κατά τον 10^ο και 11^ο αι. Τους επόμενους αιώνες η τέχνη της εικονογραφίας άνθισε ακόμα περισσότερο, ενώ μετά την άλωση της Κωνσταντινούπολης από τους Οθωμανούς Τούρκους (1453) η καλλιτεχνική δραστηριότητα μεταφέρθηκε σε μοναστικά κέντρα, όπως το Άγιο Όρος και τα Μετέωρα, αλλά και στην Κρήτη (Vieillescazes et al., 2005).

1.2.2. Η χρήση επικαλυπτικών υλικών σε κινητά ζωγραφικά έργα

Στο πέρασμα των αιώνων και μέχρι τα μέσα του 19^{ου} αιώνα, χαρακτηριστικό των περισσότερων κινητών ζωγραφικών έργων (ζωγραφισμένα με χρώματα λαδιού ή αυγοτέμπερας) είναι πως μετά τα ποικίλα στρώματα της ζωγραφικής επιφάνειας συνηθίζεται να φέρουν ένα τελικό στρώμα κάποιου διαφανούς επικαλυπτικού υλικού, το οποίο συνήθως αναφέρεται ως βερνίκι σε αυτό το είδος αντικειμένων. Σημειώνεται εντούτοις ότι η εφαρμογή βερνικιού δεν αποτελεί απαραίτητο κανόνα καθώς δεν εφαρμόζονταν βερνίκια από κάθε καλλιτέχνη σε όλες τις εποχές. Μάλιστα, στο τέλος του 19^{ου} αι. οι τεχνικές και τα υλικά που χρησιμοποιούσαν οι καλλιτέχνες άρχισαν να αλλάζουν ριζικά και από τότε παρατηρείται μείωση στη χρήση των βερνικιών στα κινητά ζωγραφικά έργα. Ωστόσο, εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται μέχρι και σήμερα (de la Rie, 1987, 1989).

Η χρήση των βερνικιών, αν και δεν είναι υποχρεωτική, επιτελεί δύο κύριους σκοπούς, την αισθητική βελτίωση του έργου και την προστασία της ζωγραφικής επιφάνειας. Από τη μία, προσδίδουν βάθος και φωτεινότητα στα χρωματικά στρώματα, ενώ ταυτόχρονα δίνουν ένα γυαλιστερό ή ματ αποτέλεσμα στο έργο, ανάλογα με την επιθυμία του δημιουργού. Την ίδια στιγμή προστατεύουν τη ζωγραφική ως ένα βαθμό από ήπιες μηχανικές καταπονήσεις και από τους ατμοσφαιρικούς ρύπους (Knut, 1999). Σαφώς, για τους ίδιους λόγους ακόμα και σήμερα, εάν ένα ζωγραφικό έργο τέχνης κατά τη διάρκεια των εργασιών συντήρησης έχει υποστεί αφαίρεση του αθηντικού βερνικιού του, είθισται να εφαρμόζεται στην επιφάνειά του νέο προστατευτικό βερνίκι.

Τα διάφορα βερνίκια που κατά καιρούς έχουν χρησιμοποιηθεί σε ζωγραφικά έργα φαίνεται να αποτελούν μίξεις ρητινών, κολλών, κόμμεων, ασπραδιού αυγού και/ή ξηραϊνόμενων ελαίων (Knut, 1999). Συγκεκριμένα, ο Knut (1999) κάνει μια λεπτομερή κατηγοριοποίηση των διαφορετικών ειδών βερνικιών και τα κατατάσσει ως εξής: α) βερνίκια λαδιού (oil varnishes), τα οποία αποτελούνται από ξηραϊνόμενα έλαια με ή χωρίς ξηραντικά υλικά, β) ελαιο-ρητινώδη βερνίκια (oleoresinous varnishes), τα οποία αποτελούνται από ξηραϊνόμενα έλαια μαζί με φυσικές ρητίνες με ή χωρίς ξηραντικά υλικά, γ) βερνίκια αλβουμίνης ή ασπραδιού αυγού, δ) βερνίκια μαλακών ρητινών (soft resin varnishes ή resin essence varnishes), τα οποία αποτελούνται από φυσικές ρητίνες διαλυμένες σε απεσταγμένα έλαια ή αποστάγματα πετρελαίου, ε) αλκοολούχα βερνίκια (alcohol varnishes), τα οποία αποτελούνται από φυσικές ρητίνες διαλυμένες σε αλκοόλη και στ) βερνίκια κεριού ή βερνίκια κεριού-ρητινής (wax ή wax-resin varnishes), τα οποία αποτελούνται από κεριά διαλυμένα σε αποστάγματα πετρελαίου ή σε βερνίκια μαλακών ρητινών. Ενδεικτικά, αναφέρεται ότι κάποια από τα υλικά που έχουν χρησιμοποιηθεί κατά καιρούς στις διάφορες μίξεις βερνικιών, είναι οι φυσικές ρητίνες σανδαράχη και μαστίχη, τα ξηραϊνόμενα έλαια λινέλαιο και καρυδέλαιο, καθώς και διάφορα πρόσθετα όπως ενδεικτικά τα ξηραντικά υλικά λευκό του μολύβδου και λιθάργυρος, τα οποία συμβάλλουν στην επιτάχυνση του στεγνώματος του βερνικιού, κ.α. (de la Rie, 1987, 1989). Ο Caley (1990) συγκεντρώνει και παρουσιάζει μια σειρά από πληροφορίες και συνταγές βερνικιών που έχουν καταγραφεί ήδη από την αρχαιότητα και μέχρι και τον 17^ο αιώνα, ενώ αναφέρει πως έχει καταγραφεί η χρήση ενός προστατευτικού βερνικιού ήδη από την περίοδο της 11^{ης} Αιγυπτιακής Δυναστείας (2160-1992 π.Χ.). Από την άλλη, ο de la Rie (1989) παραθέτει μια σειρά από αντίστοιχες πηγές, οι οποίες περιγράφουν πρώιμες συνταγές βερνικιών. Τα παραπάνω αποτελούν απλώς παραδείγματα πηγών σχετικά με τα βερνίκια.

Συγκεκριμένα όμως όσον αφορά τις θρησκευτικές εικόνες της Χριστιανικής Ορθόδοξης Εκκλησίας στον ελλαδικό χώρο, την κυριότερη πηγή πληροφοριών μέχρι σήμερα, όσον αφορά τα βερνίκια που χρησιμοποιούνταν

παραδοσιακά, αποτελεί η «Ερμηνεία της ζωγραφικής τέχνης» του Διονυσίου εκ Φουρνά. Η συγγραφή αυτού του έργου πραγματοποιήθηκε το πρώτο μισό του 18^{ου} αιώνα και περιλαμβάνει – ανάμεσα σε άλλα – πέντε συνταγές βερνικιών. Οι εν λόγω συνταγές, απαρτίζονται από τα παρακάτω υλικά ανά συνταγή: 1) «βρασμένο» (θερμικά κατεργασμένο) λινέλαιο (αναφερόμενο ως *πεζήρι*) και θερμικά κατεργασμένη ρητίνη ελάτης, αναφερόμενη ως *πέγουλα* – μέρος της οποίας μπορεί να αντικατασταθεί από μαστίχη – ενώ πριν την εφαρμογή μπορεί να προστεθεί νέφτι ή «άβραστο» (ωμό) λινέλαιο, αν το βερνίκι είναι πολύ πυκνόρευστο (§30), 2) σανταλόζι¹ και βρασμένο λινέλαιο, μαζί με νέφτι ή και άβραστο λινέλαιο (§31), 3) σανδαράχη και «πέγουλα» μαζί με νέφτι (§32), 4) σανδαράχη, σαρισάμπρι (δηλαδή αλόη), βρασμένο λινέλαιο και νέφτι (πρόκειται για ειδικό, έγχρωμο (κίτρινο) βερνίκι που προοριζόταν για το βερνίκωμα περιοχών που κοσμούσαν από ασήμι) (§33) και τέλος 5) σανδαράχη, «πέγουλα» και ρακή (§34) (Διονύσιος εκ Φουρνά, 1900). Πλέον, βέβαια, υπάρχουν και ορισμένες βιβλιογραφικές πηγές που παρουσιάζουν αποτελέσματα που έχουν προκύψει από το χαρακτηρισμό – με φυσικοχημικές μεθόδους διάγνωσης – των αυθεντικών βερνικιών που έχουν χρησιμοποιηθεί σε ποικίλες εικόνες. Για παράδειγμα, ενδεικτικά αναφέρεται πως οι Vieillescazes et al. (2005) πραγματοποίησαν αναλύσεις βερνικιών από είκοσι τέσσερις φορητές εικόνες του ελλαδικού χώρου και κατέληξαν πως πολλά από αυτά (τα βερνίκια) αποτελούσαν μίξη κάποιου φυτικού ελαίου με φυσικές ρητίνες (όπως κολοφώνιο και μαστίχη ή δάμμαρη). Σε κάποιες από τις παραπάνω περιπτώσεις ανιχνεύθηκε επίσης κερί, ενώ σε μία περίπτωση κερί και αυγό. Τέλος, ορισμένα βερνίκια αποτελούνταν αποκλειστικά από φυσικές ρητίνες – μία ή δύο – με την πλειοψηφία να αποτελείται από κολοφώνιο και σε κάποιες περιπτώσεις από Βενετσιάνικη Τερεβινθίνη, ενώ η δεύτερη ρητίνη που συνυπήρχε σε κάποιες περιπτώσεις ήταν η μαστίχη. Ιδιαίτερη εντύπωση ωστόσο προκάλεσε στους συγγραφείς το γεγονός πως σε καμία περίπτωση δεν εντοπίστηκε σανδαράχη, καθώς αυτό αντιτίθεται στις πληροφορίες που δίνει σε κάποιες περιπτώσεις ο Διονύσιος εκ Φουρνά σχετικά με τις συνταγές των βερνικιών. Άλλη περίπτωση αποτελεί μια εικόνα προερχόμενη από τον Ελληνικό Ορθόδοξο Ναό του Αγίου Γεωργίου στην Ιορδανία, που διαπιστώθηκε πως το βερνίκι είναι και πάλι φυσική ρητίνη και συγκεκριμένα μαστίχη (Alawneh et al., 2018).

1.2.3. Καθαρισμός – Αφαίρεση ρύπων/επικαλυπτικών υλικών

Σύμφωνα με τον de la Rie (1989) τα βερνίκια αποτελούν το πιο ευάλωτο τμήμα των παλαιών κινητών ζωγραφικών έργων, καθώς η αλληλεπίδραση με το περιβάλλον οδηγεί σε γήρανση και αποσύνθεση-φθορά των υλικών τους (Bakalargou & Theodorakopoulos, 2013). Λόγω της σύνθεσής τους, της μεγάλης επιφάνειας που καλύπτουν και του μικρού τους πάχους, είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα. Έτσι, τα διάφορα φυσικά και συνθετικά πολυμερή που χρησιμοποιούνται ως επικαλυπτικά υλικά, εκτός από τις περιβαλλοντικές συνθήκες-μεταβολές (όπως ακτινοβολίες, μεταβολές T & RH) και τους ρύπους, επηρεάζονται επίσης από μηχανικές καταπονήσεις. Λόγω των παραπάνω συχνά αλλοιώνονται αποκτώντας κίτρινη/καστανή ή γκρι απόχρωση και/ή εμφανίζουν ένα μοτίβο λεπτών ρωγμών ή δίκτυο κρακελέ. Το γεγονός αυτό επηρεάζει αρνητικά την εμφάνιση και την

¹ Πιθανώς ρητίνη σανταλόξυλου (Mastrotheodoros & Beltsios, 2021)

αναγνωσιμότητα της ζωγραφικής επιφάνειας, καθώς οι γραμμές και το χρώμα σταδιακά «χάνονται» κάτω από το αλλοιωμένο στρώμα βερνικιού (Baglioni et al., 2015a; Knut, 1999).

Για τους παραπάνω λόγους, ο καθαρισμός των κινητών ζωγραφικών έργων είναι μια συχνή ενέργεια στο πλαίσιο των εργασιών συντήρησης (Baglioni et al., 2015a). Μάλιστα, είναι μια από τις λίγες επεμβάσεις που συνήθως πραγματοποιείται πρωτίστως για λόγους αισθητικούς, παρά για λόγους στατικότητας και διατήρησης των αντικειμένων. Σημειώνεται δε ότι, παρότι ο όρος «καθαρισμός» αναφέρεται συνήθως στην απομάκρυνση εξωγενών επικαθίσεων όπως οι ρύποι, στο πεδίο της συντήρησης χρησιμοποιείται και για να περιγράψει τη διαδικασία αφαίρεσης ποικίλων ανεπιθύμητων στρωμάτων, όπως αλλοιωμένων επικαλυπτικών υλικών, επιζωγραφίσεων, λεκέδων, αλάτων κ.λ.π. από την επιφάνεια ή τα υποστρώματα των αντικειμένων (Khandekar, 2004a).

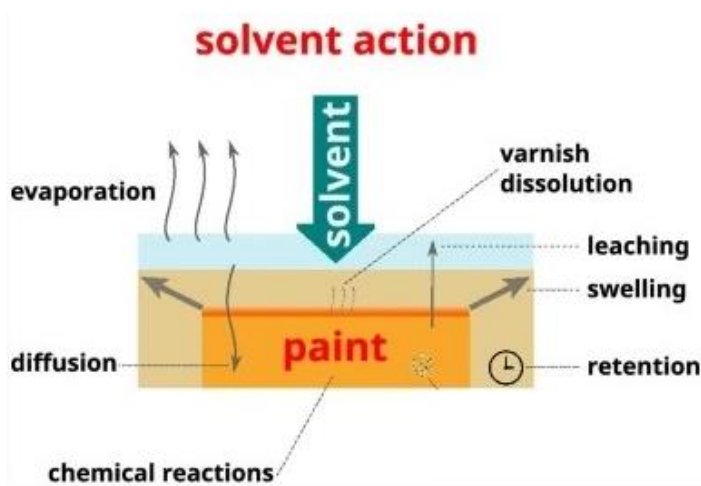
Αν και ο καθαρισμός είναι μια εργασία που συχνά αποτελεί «ρουτίνα» για τους συντηρητές, παρουσιάζει δυσκολίες, καθώς ο σκοπός είναι να αφαιρεθούν όλα τα ανεπιθύμητα επιφανειακά στρώματα, χωρίς όμως να επηρεαστούν τα (υποκείμενα) αυθεντικά υλικά του έργου (π.χ. ζωγραφικό στρώμα) (Baglioni et al., 2015a). Έτσι, πέρα από τον αισθητικό παράγοντα, η έκβαση μιας εργασίας καθαρισμού επηρεάζεται από τρεις κύριους παράγοντες. Ο πρώτος είναι το συνδυαστικό μέσο του χρωματικού στρώματος, ο δεύτερος το είδος του επικαλυπτικού-βερνικιού που πρόκειται να αφαιρεθεί (ή οποιοδήποτε αντίστοιχο ανεπιθύμητο στρώμα) και, τέλος, η μέθοδος καθώς και τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν στον καθαρισμό. Όπως είναι κατανοητό από τα παραπάνω, η ασφαλής αφαίρεση ενός ανεπιθύμητου στρώματος εξαρτάται από το πόσο διαφέρει η διαλυτότητα του ανεπιθύμητου αυτού στρώματος από τη διαλυτότητα του υποκείμενου του (χρωματικού ή άλλου) στρώματος (Caley, 1990). Για τους παραπάνω λόγους, και επειδή ο καθαρισμός είναι μια διαδικασία μη αναστρέψιμη, προτιμάται να πραγματοποιείται σταδιακά και ελεγχόμενα. Δηλαδή, γίνεται προσπάθεια ώστε τα τυχόν διαδοχικά ανεπιθύμητα στρώματα (π.χ. γηρασμένα βερνίκια) να αφαιρούνται ένα-ένα ή, εάν πρόκειται για ένα μονάχα στρώμα, να αφαιρείται μειώνοντας το πάχος του βήμα-βήμα (όχι να αφαιρούνται όλα τα στρώματα σε ένα μόνο βήμα) (Baglioni et al., 2015a). Επιπλέον, ανάλογα με τις ανάγκες κάθε έργου, συχνά γίνεται λόγος για μερικό καθαρισμό και για επιλεκτικό καθαρισμό. Στην πρώτη περίπτωση ο καθαρισμός στοχεύει απλά στη μείωση του πάχους του ανεπιθύμητου στρώματος και όχι στην πλήρη απομάκρυνσή του, ενώ στη δεύτερη το ανεπιθύμητο στρώμα απομακρύνεται κατά τόπους, όπου κρίνεται απαραίτητο (Umney & Rivers, 2003). Φυσικά, η ευαισθησία του έργου σε μία ή παραπάνω τέτοιες επεμβάσεις εξαρτάται από την κατάσταση διατήρησής του, καθώς και από τυχόν προγενέστερες παρόμοιες επεμβάσεις στις οποίες έχει υποβληθεί (Caley, 1990).

Παρότι αποτελεί μια εργασία που πραγματοποιείται συχνά, είναι σαφές πως η λήψη της απόφασης καθαρισμού της επιφάνειας ενός ζωγραφικού έργου πρέπει να προκύπτει ύστερα από κριτική σκέψη και όχι αυθαίρετα και αναίτια. Δηλαδή, προκειμένου να πραγματοποιηθεί ολική ή μερική αφαίρεση ορισμένων – ανεπιθύμητων – στρωμάτων, πρέπει αυτά να νοούνται επικίνδυνα ως προς τη διατήρηση της ακεραιότητας της ζωγραφικής επιφάνειας (π.χ. ρύποι), να μην επιτελούν πλέον το σκοπό τους (π.χ. το βερνίκι να μην είναι σε θέση πλέον να προστατεύσει τη ζωγραφική επιφάνεια), να εμποδίζουν την ομαλή αναγνωσιμότητα του έργου, ή να μην αποτελούν αυθεντικό στοιχείο του έργου, αλλά μεταγενέστερη προσθήκη (π.χ. επιζωγράφιση). Ακόμα και σ' αυτές τις περιπτώσεις ωστόσο, συχνά υπάρχουν εξαιρέσεις. Επιπλέον, αποτελεί κοινή παραδοχή το γεγονός πως

δεν πρέπει να προβαίνει κανείς σε μια τέτοια επέμβαση, αν δεν έχει εξασφαλιστεί και επιβεβαιωθεί πως αυτή - η επέμβαση- δε θα αποβεί με οποιοδήποτε τρόπο επιζήμια για τη ζωγραφική επιφάνεια.

1.2.4. Καθαρισμός με χρήση ελεύθερων διαλυτών & Καθαρισμός με υδατικά μέσα

Οι παραδοσιακές μέθοδοι καθαρισμού μπορούν να διαχωριστούν σε α) μηχανικές, β) χημικές και γ) σε αυτές που εφαρμόζονται χωρίς επαφή (Khandekar, 2004a, 2). Στην πρώτη κατηγορία απαντά η χρήση διαφόρων εργαλείων για την αφαίρεση ανεπιθύμητων στρωμάτων, όπως νυστέρι ή διαφόρων ειδών ξηρές «γόμες», ενώ στη δεύτερη ανήκουν τα υγρά μέσα καθαρισμού, ήτοι τα υδατικά και τα μη υδατικά μέσα (όπως οι οργανικοί διαλύτες). Τέλος, η τρίτη κατηγορία (καθαρισμός χωρίς επαφή) αναφέρεται στα λέιζερ (μονοχρωματικές ακτινοβολίες), τα οποία έχουν αρχίσει να χρησιμοποιούνται τις τελευταίες δεκαετίες για αφαίρεση ορισμένων ανεπιθύμητων στρωμάτων (op. cit.).



Εικ. 1.2.4-1 Δράση διαλυτών σε ένα ζωγραφικό στρώμα με συνδετικό υλικό το λάδι. Παρουσιάζεται το φαινόμενο της διόγκωσης (swelling) και της έκπλυσης (leaching) του ζωγραφικού στρώματος. Πηγή: , αναπαραγωγή με άδεια [CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Ωστόσο, η συνηθέστερη μέθοδος που χρησιμοποιείται είναι ο συνδυασμός μηχανικής δράσης με διαλυτοποίηση των προς αφαίρεση στρωμάτων, συχνά χρησιμοποιώντας μπατονέτες βαμβακιού ή πινέλα εμποτισμένα με οργανικούς διαλύτες, υδατικά μέσα ή, σε ορισμένες περιπτώσεις, και σκέτο νερό, ανάλογα με το στρώμα προς αφαίρεση (Baglioni et al., 2015a; Khandekar, 2004a). Αν και αυτή η μέθοδος είναι ευρέως χρησιμοποιούμενη στο πεδίο της συντήρησης μέχρι και σήμερα, παρουσιάζει διάφορα προβλήματα και συχνά δημιουργεί δυσκολίες κατά τη διαδικασία του εκάστοτε καθαρισμού. Πιο κοινό πρόβλημα αποτελεί η ταχεία διάχυση των διαφόρων ελεύθερων υγρών που χρησιμοποιούνται στον καθαρισμό (π.χ. οργανικοί διαλύτες ή υδατικά μέσα) στα διάφορα στρώματα των κινητών ζωγραφικών έργων τέχνης, που έχει ως αποτέλεσμα τη διόγκωση (swelling) ή και τη διαλυτοποίηση – και κατ' επέκταση έκπλυση (leaching) – ευαίσθητων, αυθεντικών στοιχείων του έργου (π.χ. κόκκοι χρωστικών ή συστατικά των συνδετικών μέσων από το χρωματικό στρώμα, βαφές κ.λ.π.) (op. cit.) (Εικ. 1.2.4-1). Έτσι, σε περίπτωση που δεν μπορεί να ελεγχθεί αποτελεσματικά η διάχυση των ελεύθερων υγρών, η ακεραιότητα του χρωματικού στρώματος είναι πιθανό να διακυβεύεται σοβαρά. Μάλιστα, σε περίπτωση φορητής εικόνας που φέρει χρώσμα,

η διάχυση των ελεύθερων υγρών στα κατώτερα στρώματα κατά την προσπάθεια αφαίρεσης ενός γηρασμένου βερνικιού μπορεί να φθείρει τόσο τη σύνθεση του κράματος των μεταλλικών φύλλων του χρυσώματος, όσο και τις συγκολλητικές ουσίες με τις οποίες αυτά συγκρατούνται στην επιφάνεια (Bakalargou & Theodorakopoulos, 2013), γεγονός που μπορεί να οδηγήσει στην φθορά ή στην αποκόλλησή τους από την επιφάνεια. Εκτός των παραπάνω, προκύπτει ένα εξίσου σημαντικό πρόβλημα που αφορά την έκβαση και την αποτελεσματικότητα του ίδιου του καθαρισμού. Συχνά, τα διαλυτοποιημένα στρώματα (π.χ. εξωγενείς επικαθίσεις, βερνίκια, κ.λ.π.) συμπαρασύρονται από τα ελεύθερα υγρά που χρησιμοποιούνται για τον καθαρισμό και επανατοποθετούνται μέσα σε πόρους ή ρωγματώσεις του έργου, διεισδύοντας πιο βαθιά στη στρωματογραφία του έργου, αντί να απομακρυνθούν από αυτό, που είναι ο στόχος. Είναι σαφές πως και στις δύο περιπτώσεις τα αυθεντικά υλικά του έργου (π.χ. χρωματικό στρώμα) δεν παραμένουν ανεπηρέαστα, γεγονός που κάνει αυτή τη μέθοδο να μειονεκτεί, παρά τη μεγάλη της ευχρηστία. Επιπροσθέτως, οι οργανικοί διαλύτες που συχνά χρησιμοποιούνται είναι πτητικοί και τοξικοί, γεγονός που καθιστά τη χρήση τους επιβλαβή τόσο για τους συντηρητές που πραγματοποιούν μια εργασία καθαρισμού, όσο και για το περιβάλλον (Baglioni et al., 2015a, 857).

Όλα τα παραπάνω έχουν απασχολήσει την κοινότητα των συντηρητών πολλές φορές μέσα στο πέρασμα των χρόνων. Παρόλα αυτά, η χρήση ελεύθερων υγρών μέσων παρέμενε η κυριότερη και αποτελεσματικότερη μέθοδος καθαρισμού και, μέχρι πρόσφατα τουλάχιστον, δεν ήταν δυνατόν να αποφευχθεί η χρήση της. Αργότερα ωστόσο (περί τα τέλη της δεκαετίας του '80), προτάθηκε μία νέα μέθοδος καθαρισμού διάφορων επιφανειών, που φαίνεται πως έπαιξε και εξακολουθεί να παίζει καταλυτικό ρόλο μέχρι και σήμερα καθώς περιόρισε σημαντικά τα προαναφερθέντα προβλήματα. Πρόκειται για τις μεθόδους καθαρισμού με αξιοποίηση των λεγόμενων συστημάτων γελών ή τζελ, τα οποία θα συζητηθούν παρακάτω.

1.2.5. Γέλες-Καινοτομία στο χώρο της συντήρησης

Ως απάντηση στα παραπάνω προβλήματα που προκύπτουν συχνά από τη χρήση υγρών μέσων καθαρισμού (ελεύθεροι διαλύτες, υδατικά μέσα κλπ.), στο τέλος της δεκαετίας του '80 εισήχθη, ανάμεσα σε άλλες μεθόδους, μια νέα μέθοδος καθαρισμού στο πεδίο της συντήρησης, με σκοπό να περιορίσει τα προβλήματα αυτά: πρόκειται για τη χρήση συστημάτων υψηλού ιξώδους που είναι γνωστά ως συστήματα γελών. Η ιδέα ήταν να ενσωματωθούν τα υγρά μέσα καθαρισμού – που μέχρι τότε χρησιμοποιούνταν ελεύθερα – μέσα σε συστήματα γελών (ή αλλιώς τζελ, πηκτώματα, πηκτές), αυξάνοντας έτσι το ιξώδες τους, με αποτέλεσμα να προκύπτουν μια σειρά από πλεονεκτήματα έναντι της παραδοσιακής μεθόδου καθαρισμού (Wolbers, 2017). Αρκετά απλά, οι γέλες είναι μαλακά υλικά που αποτελούνται από αλυσίδες πολυμερών διεσπαρμένες μέσα σε ένα υγρό (νερό ή/και οργανικό διαλύτη), οι οποίες διασταυρώνονται μεταξύ τους (με φυσικό ή χημικό τρόπο) και σχηματίζουν ένα τρισδιάστατο πλέγμα (Sansonetti et al., 2020). Στην ουσία, ένα σύστημα γέλης αποτελείται από ένα λιγότερο κινητό μέρος, το τριασδιάστατο δηλαδή δίκτυο, και από ένα δυναμικό υγρό μέρος, το οποίο μακροσκοπικά φαίνεται ακινητοποιημένο μέσα στο δίκτυο, αλλά στην πραγματικότητα, μικροσκοπικά, μπορεί να κινείται ελεύθερα, σαν να ήταν ελεύθερο υγρό (Angelova, 2017, 231).

Χαρακτηριστικό των συστημάτων αυτών είναι ότι παρουσιάζουν υψηλό ιξώδες (δηλαδή είναι παχύρρευστα) και υψηλή δυνατότητα κατακράτησης υγρών. Έτσι, η υγρή φάση που περιέχεται σε ένα τέτοιο σύστημα αποκτά τη δυνατότητα να απελευθερώνεται σταδιακά με αργό ρυθμό και λόγω του υψηλού ιξώδους μειώνεται ο ρυθμός της τριχοειδούς διείσδυσής της στα υποκείμενα στρώματα και στις γύρω περιοχές της επιφάνειας στην οποία η γέλη έχει εφαρμοστεί. Με λίγα λόγια, η δράση των υγρών μέσων καθαρισμού καθίσταται πλέον πολύ πιο ελεγχόμενη και έτσι μειώνεται ο κίνδυνος διόγκωσης, μαλακώματος και έκπλυσης απαραίτητων συστατικών – και κατ' επέκταση αποδυνάμωσης – των στρωμάτων που είναι επιθυμητό να διατηρηθούν άθικτα (π.χ. μειώνεται ο κίνδυνος διόγκωσης του συνδετικού μέσου ενός χρωματικού στρώματος). Ταυτόχρονα, ο ρυθμός εξάτμισης της υγρής φάσης μειώνεται, επιτρέποντάς της έτσι να μείνει ελεγχόμενα σε επαφή με το προς αφαίρεση στρώμα για όσο χρόνο χρειάζεται, ενώ επιπροσθέτως, μειώνει και το επίπεδο τοξικότητας στο οποίο εκτίθενται στις συνθήκες (δηλ. με ελεύθερους διαλύτες) εργασίες καθαρισμού οι συντηρητές. Επιπλέον, κατά τη διάρκεια της επαφής της γέλης με το στρώμα που χρήζει αφαίρεσης, τα μόρια του στρώματος που διαλυτοποιούνται, διαχέονται σε μικρότερο βαθμό μέσα στη γέλη (απ' ότι αν χρησιμοποιούνταν καθαριστικά μέσα με χαμηλότερο ιξώδες, π.χ. ελεύθεροι διαλύτες). Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να μειώνεται ο ρυθμός διαλυτοποίησης της αφαιρούμενης ουσίας, γεγονός που καθιστά τη μέθοδο ακόμα πιο ελεγχόμενη, προσδίδοντάς της επίσης επιλεκτικό χαρακτήρα, αφού η δράση της υγρής φάσης περιορίζεται κάθε φορά στην επιφάνεια του προς αφαίρεση στρώματος και δεν δρα απευθείας σε όλο τον όγκο του (Baglioni et al., 2014; Bakalarou & Theodorakopoulos, 2013; Carretti et al., 2008; Cremonesi, 2013; Khandekar, 2004a; Sansonetti et al., 2020).

Πέρα από τα παραπάνω θετικά χαρακτηριστικά, αποδεικνύεται μέχρι σήμερα ότι ο καθαρισμός με συστήματα γελών είναι μια μέθοδος που παρουσιάζει ιδιαίτερη ευελιξία, καθώς, ανάλογα με την κατηγορία στην οποία ανήκουν (βλ. Υποκεφάλαιο 1.2.6), εκτός από ένα μεγάλο εύρος οργανικών διαλυτών και υδατικών φάσεων, μπορούν να ενσωματωθούν στα συστήματα αυτά και άλλα μέσα που αξιοποιούνται για εργασίες καθαρισμού όπως για παράδειγμα χημικά αντιδραστήρια και ένζυμα, τα οποία μάλιστα χαρακτηρίζονται από ιδιαίτερη επιλεκτικότητα. Έτσι, μπορούν κατά περίπτωση να αφαιρέσουν με τον απαιτούμενο βαθμό επιλεκτικότητας, επικαθίσεις, βερνίκια αλλά και συνθετικά πολυμερή (Bakalarou & Theodorakopoulos, 2013; Bonini et al., 2007). Επιπλέον, σημαντικό είναι το γεγονός πως απαιτείται μικρότερη ποσότητα διαλυτών για να επιτευχθεί ένας καθαρισμός με συστήματα γελών, απ' ότι με ελεύθερους διαλύτες (Sansonetti et al., 2020).

Η μέθοδος αυτή, χάρη στην ελεγχόμενη δράση και στην επιλεκτικότητα που φάνηκε να προσφέρει, κίνησε από την αρχή το ενδιαφέρον της κοινότητας των συντηρητών και άρχισε να εξαπλώνεται διεθνώς και να διερευνάται όλο και περισσότερο μέχρι και σήμερα. Ωστόσο, παρά τα μεγάλα πλεονεκτήματα που φαίνεται να παρουσιάζει, είναι σημαντικό να σημειωθεί πως δεν προτάθηκε με σκοπό να αντικαταστήσει τις παραδοσιακές μεθόδους καθαρισμού, αλλά με σκοπό να σταθεί δίπλα τους σαν εναλλακτική όταν εκείνες έχουν αποτύχει να επιτελέσουν το σκοπό τους ή κρίνονται ακατάλληλες για την επίτευξη του επιθυμητού στόχου (Baglioni et al., 2014; Bakalarou & Theodorakopoulos, 2013; Carretti et al., 2008; Cremonesi, 2013; Khandekar, 2004a; Sansonetti et al., 2020).

1.2.6. Είδη γελών και το ζήτημα των υπολειμμάτων

Μέχρι σήμερα έχουν σχεδιαστεί και προταθεί διάφορα συστήματα γελών. Κάθε νέο σύστημα σχεδιάζεται συνήθως με σκοπό να αποτελέσει κατά κάποιον τρόπο «αναβάθμιση» για τα προηγούμενα, βελτιώνοντας ή ελαχιστοποιώντας τα προβλήματα που αυτά παρουσιάζουν (Sansonetti et al., 2020). Κάποιες φορές δε, τα νέα συστήματα στοχεύουν σε ένα πιο συγκεκριμένο και περιορισμένο πεδίο εφαρμογής, όπως για παράδειγμα εφαρμογή σε αντικείμενα που παρουσιάζουν πορώδες και σχετική ευαισθησία στο νερό ή εφαρμογή σε σύγχρονα ζωγραφικά έργα τέχνης, τα οποία παρουσιάζουν συνήθως έντονη μορφολογία (π.χ. «impasto») στην επιφάνειά τους. Η διαφορά των ποικίλων συστημάτων έγκειται καταρχάς στον πολυμερή πηκτωματοποιητή που αυτά χρησιμοποιούν και κατ' επέκταση στον τρόπο που, από την οπτική της χημείας, σχηματίζουν το τρισδιάστατο πλέγμα, το οποίο συνεπάγεται τον σχηματισμό της γέλης. Εκτός όμως αυτού, παρουσιάζουν διαφορές ως προς τα υγρά μέσα καθαρισμού που έχουν τη δυνατότητα να υποστηρίξουν/ κατακρατήσουν, αλλά και ως προς πιο πρακτικά ζητήματα, όπως για παράδειγμα τον τρόπο εφαρμογής και αφαίρεσής τους.

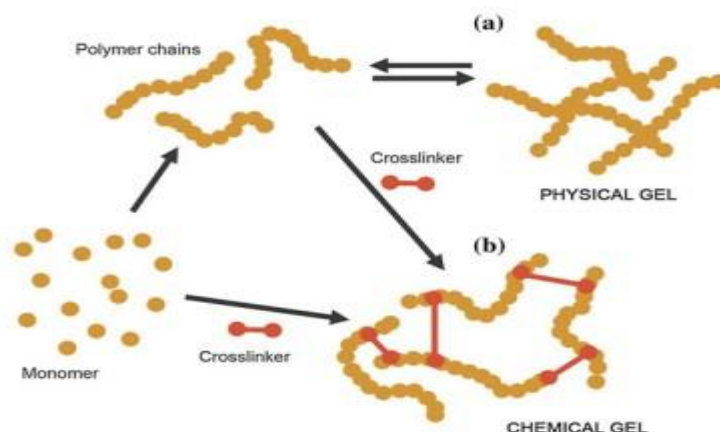
Κατηγορίες Γελών

Γενικότερα, τα είδη γελών κατηγοριοποιούνται σε φυσικές και χημικές γέλες. Ο διαχωρισμός αυτός προκύπτει από τον τύπο των διασταυρούμενων δεσμών που δημιουργούνται μεταξύ των αλυσίδων του πολυμερούς (που χρησιμοποιείται για την πηκτωματοποίηση) κατά το σχηματισμό του τρισδιάστατου πλέγματός τους. Κατηγοριοποιούνται επίσης σε φυσικές και συνθετικές ανάλογα με την προέλευσή τους, σε υδατικές γέλες (υδρογέλες) και οργανικές γέλες (οργανογέλες) ανάλογα με τα υγρά μέσα που υποστηρίζουν, ενώ μπορούν να κατηγοριοποιηθούν και με βάση το σχήμα και το μέγεθος της διαμόρφωσής τους (Osada et al., 2004; Yamauchi, 2001). Τέλος, ένας ακόμα διαχωρισμός που γίνεται τα τελευταία έτη, είναι αυτός ανάμεσα σε μαλακές και άκαμπτες γέλες, χαρακτηρισμός που σχετίζεται με τη σύσταση-μορφή τους (Bonelli et al., 2019).

Σε σχέση με την προέλευσή τους, οι γέλες αποκαλούνται φυσικές όταν οι πηκτωματοποιητές που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή τους είναι πολυμερή που προέρχονται από τροποποιημένα φυσικά προϊόντα (φυτικής ή ζωικής προέλευσης), όπως οι αιθέρες κυτταρίνης (π.χ. Klucel - hydroxypropylcellulose), ενώ καλούνται συνθετικές όταν χρησιμοποιούνται εξολοκλήρου συνθετικά πολυμερή όπως το πολυακρυλικό οξύ (π.χ. Carborol) (Baglioni et al., 2014, 2015a; Osada et. al, 2004).

Όσον αφορά το είδος των διασταυρούμενων δεσμών, φυσικές γέλες καλούνται εκείνες στις οποίες, συνήθως ύστερα από μεταβολή στη θερμοκρασία ή το pH, οι αλυσίδες του πολυμερούς τους διασταυρώνονται διαμοριακά με μη ισχυρές δυνάμεις (Εικ. 1.2.6-1), όπως δυνάμεις van der Waals, ηλεκτροστατικές δυνάμεις ή δυνάμεις δεσμών υδρογόνου, προκαλώντας τη μετάβασή τους από μορφή διαλύματος σε μορφή γέλης. Επιπλέον σημειώνεται ότι η μετάβαση αυτή είναι αναστρέψιμη, δηλαδή οι γέλες μπορούν να επιστρέψουν στη μορφή διαλύματος με αντίστροφη μεταβολή στις συνθήκες pH ή θερμοκρασίας. Από την άλλη, χημικές γέλες καλούνται εκείνες που σχηματίζονται ύστερα από μια χημική αντίδραση, κατά την οποία οι αλυσίδες του πολυμερούς διασταυρώνονται σχηματίζοντας ομοιοπολικούς δεσμούς (Εικ. 1.2.6-1). Σε αυτή την περίπτωση η μετάβαση από

μορφή διαλύματος σε μορφή γέλης είναι μη αναστρέψιμη (Angelova et al., 2017; Baglioni et al., 2015a; Hassan et al., 2012; Osada, 2001; Osada et al., 2004).



Εικ. 1.2.6-1. Σχηματική αναπαράσταση α) μιας φυσικής γέλης σχηματιζόμενης από τη σύνδεση μακρομοριακών αλυσίδων και β) μιας χημικής γέλης σχηματιζόμενης μέσω αντιδράσεων πολυμερισμού και σχηματισμού διασταυρούμενων δεσμών. Πηγή: Bonelli et al., (2016), *Confined aqueous media for the cleaning of cultural heritage: Innovative gels and amphiphile-based nanofluids*, in: *Nanoscience and Cultural Heritage*, (Eds: P. Dillmann, L. Bellot-Gurlet, I. Nenner). Copyright © Atlantis Press and the author(s) 2016. Αναπαραγωγή με την άδεια της Springer Nature BV μέσω της πλατφόρμας PLSclear.

Τέλος, «μια υδρογέλη είναι ένα πολυμερικό υλικό που παρουσιάζει την ικανότητα να διογκώνεται στο νερό και απορροφά ένα σημαντικό κλάσμα [...] νερού μέσα στη δομή του, αλλά που δε διαλύεται στο νερό» (Osada et al., 2004, 88), ενώ σε μια οργανική γέλη το μέσο διόγκωσης είναι οργανικοί διαλύτες (op. cit.).

Γέλες στο πεδίο της Συντήρησης

Τα διάφορα πολυμερή που βρίσκουν εφαρμογή στο πεδίο της συντήρησης για παρασκευή συστημάτων γελών, χρησιμοποιούνται κατά κόρον και σε άλλα επιστημονικά πεδία ήδη από παλαιότερα, όπως για παράδειγμα στη βιομηχανία τροφίμων και στον τομέα της φαρμακευτικής. Ωστόσο στην παρούσα εργασία δε θα γίνουν αναφορές για άλλες χρήσεις τους, παρά μόνο για τον τομέα ενδιαφέροντος (: συντήρηση). Επιπλέον, σημειώνεται ότι τα όσα παρουσιάζονται στα παρακάτω κεφάλαια επικεντρώνονται σε συστήματα γελών και σε μεθόδους εφαρμογής που αφορούν κατά κύριο λόγο ζωγραφικές επιφάνειες.

Το πιο χαρακτηριστικό είδος συστημάτων γελών που χρησιμοποιείται έως σήμερα στο πεδίο της συντήρησης, είναι οι παραδοσιακές, φυσικές γέλες. Μάλιστα, ένα από τα πρώτα συστήματα που προτάθηκε στο τέλος της δεκαετίας του '80 (Stavroudis, 2017) ανήκει σε αυτή την κατηγορία και χρησιμοποιεί ως πηκτωματοποιητή ένα συνθετικό πολυμερές, το πολυακρυλικό οξύ (π.χ. Carborol). Το σύστημα αυτό έχει τη δυνατότητα να πηκτωματοποιήσει διαλύτες (υψηλής ή χαμηλής πολικότητας), υδατικά διαλύματα και μια σειρά από μέσα καθαρισμού (Baglioni et al., 2014) και έχει καθιερωθεί οι γέλες αυτού του είδους να καλούνται «γέλες διαλυτών».

Ανάμεσα στα πρώτα εκείνα συστήματα ανήκουν και οι φυσικές γέλες που ως πηκτωματοποιητές χρησιμοποιούν πολυμερή από φυσικά προϊόντα, όπως παράγωγα κυτταρίνης (π.χ. υδροξυ-προπυλ-κυτταρίνη /

HPC, με εμπορική ονομασία Klucel) και πολυσακχαρίτες (π.χ. άγαρ, κόμμι τζελάν, κόμμι ξανθάνης) Αν και πραγματοποιούνται παρασκευές των γελών αυτών και με οργανικούς διαλύτες, στη βιβλιογραφία αναφέρονται συχνότερα ως υδρογέλες, καθώς συναντάται σε μεγαλύτερο βαθμό και συχνότητα η παρασκευή τους με υδατικά μέσα.

Στις αρχές του 21^{ου} αιώνα, κάνουν την εμφάνισή τους κάποια είδη γελών που αναφέρονται ως «responsive gels», χαρακτηρισμός που αναφέρεται στην ιδιότητά τους να αφαιρούνται (μετά την εφαρμογή τους) με ιδιαίτερη ευκολία και ταχύτητα ύστερα από ένα χημικό ή φυσικό ερέθισμα, χάρη στη χημική δομή τους. Στην πρώτη περίπτωση (χημικό ερέθισμα) αντιστοιχεί ένα σύστημα γέλης που για την παρασκευή του χρησιμοποιείται κάποιο πολυμερές πολυαμιμών, όπως πολυαλλυλαμίνη (PAA – polyallylamine) ή πολυαιθυλενιμίνη (PEI – polyethyleneimine)². Το συγκεκριμένο σύστημα καλείται ισοθερμικά ρεολογικά αναστρέψιμο, καθώς έχει τη δυνατότητα να αλλάζει την κατάσταση της ροής του από μορφή διαλύματος σε μορφή γέλης και ύστερα πάλι σε μορφή διαλύματος, με μια απλή χημική αντίδραση (χημικό ερέθισμα) κάθε φορά, χωρίς αλλαγή θερμοκρασίας. Για την παρασκευή και εφαρμογή του, για το υγρό μέρος του συστήματος δοκιμάστηκαν επιτυχώς ορισμένοι οργανικοί διαλύτες και επομένως συγκαταλέγεται στην κατηγορία των οργανικών γελών (Baglioni et al., 2014; Carretti et al., 2004, 2005, 2008). Η δεύτερη περίπτωση (φυσικό ερέθισμα), αφορά «χημικές γέλες βασισμένες σε πολυακρυλαμίδιο, εμπλουτισμένες με μαγνητικά νανοσωματίδια φερρίτη, χημικά συνδεδεμένα με το πολυμερές» (Baglioni et al., 2014, 366). Αποτελεί ένα ιδιαίτερα πρωτοποριακό σύστημα υδρογελών, καθώς η γέλη μπορεί να απομακρυνθεί από την επιφάνεια εφαρμογής πλησιάζοντας κοντά της ένα μαγνήτη (φυσικό ερέθισμα) (Baglioni et al., 2014; Bonini et al., 2007, 2008).

Τη δεύτερη δεκαετία του 21^{ου} αιώνα, εισάγεται ακόμα ένα πρωτοποριακό σύστημα χημικών υδρογελών, το οποίο βασίζεται σε ημι-διαδιδευδικά δίκτυα p(HEMA)/PVP [poly(2-hydroxyethyl methacrylate) / poly(vinyl pyrrolidone)]. Το συγκεκριμένο σύστημα σχεδιάστηκε ειδικά για εφαρμογή στον τομέα της συντήρησης. Καίτοι μπορεί να υποστηρίξει πολικούς οργανικούς διαλύτες, σχεδιάστηκε με σκοπό να αξιοποιηθεί η ιδιότητά του να μπορεί να υποστηρίξει νερό και συστήματα απορροπαντικών βασισμένα σε νερό, όπως συστήματα μικκυλίων και μικρογαλακτώματα (Domingues et al., 2013a, 2013b, 2014).

Την ίδια χρονική περίοδο κάνουν την εμφάνισή τους και οι λεγόμενες Πολυμερικές Διασπορές Υψηλού Ιξώδους (Highly Viscous Polymeric Dispersions – HPVDs), στις οποίες ανήκουν τα συστήματα που βασίζονται σε πολυβινυλική αλκοόλη (PVA – poly(vinyl alcohol)) ή μερικώς υδρολυμένο οξικό πολυβινυλεστέρα (PVAc – poly(vinyl acetate)), σε συνδυασμό με βόρακα (PVA-b και PVAc-b αντίστοιχα). Σημειώνεται εντούτοις ότι τα συγκεκριμένα συστήματα, λόγω των ρεολογικών χαρακτηριστικών τους, δεν εμπίπτουν καθαρά στην κατηγορία των γελών (Baglioni et al., 2014, 2015b).

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, τα ποικίλα συστήματα γελών συχνά διαχωρίζονται σε «μαλακές» και «άκαμπτες» γέλες. Οι «μαλακές» γέλες έχουν ημίρρευστη υφή που θυμίζει πάστα/μαρμελάδα και χάρη σε αυτό το χαρακτηριστικό τους ευνοείται η πρόσφυσή τους σε τραχιές, ανώμαλες επιφάνειες. Σε αυτές συγκαταλέγονται



² Με βάση τη βιβλιογραφία δε γίνεται σαφές αν το σύστημα αυτό ανήκει στην κατηγορία των φυσικών ή των χημικών γελών. Αναφέρεται ωστόσο ότι το τρισδιάστατο πλέγμα του συστήματος προκύπτει μέσω ηλεκτροστατικών δυνάμεων μεταξύ των αλυσίδων των πολυμερών (βλ. Baglioni et al., 2014).

συστήματα όπως οι γέλες πολυακρυλικού οξέος και οι γέλες αιθέρων κυτταρίνης, αλλά και άλλες. Οι γέλες που ανήκουν σε αυτή την κατηγορία συχνά αναφέρονται και ως «πηκτικά μέσα» (thickening agents). Από την άλλη, οι «άκαμπτες» γέλες έχουν σταθερό σχήμα και είναι συμπαγείς με αποτέλεσμα να μην έχουν τόσο καλή πρόσφυση σε μη λείες επιφάνειες. Κάποιες από τις γέλες που ανήκουν σε αυτήν την κατηγορία είναι οι γέλες από άγαρ και κόμμι τζελάν (συγκεκριμένα οι γέλες που παρασκευάζονται με κόμμι τζελάν χαμηλής περιεκτικότητας σε αλκύλια – Low Acyl Gellan Gum), καθώς και τα συστήματα ημι-διαδεδισδυτικών δικτύων p(HEMA)/PVP (Bonelli et al., 2019).

Σημειώνεται ότι τα συστήματα γελών που αναφέρονται είναι τα πιο χαρακτηριστικά που έχουν προταθεί και χρησιμοποιηθεί στον τομέα της συντήρησης τις προηγούμενες δεκαετίες και ενδέχεται μερικά ήσσονος σημασίας να έχουν παραληφθεί. Επιπλέον σημειώνεται ότι, αν και η χρήση των γελών έχει πλέον καθιερωθεί, πολλά από τα συστήματα μελετώνται ακόμα, ενώ εξακολουθούν να γίνονται προσπάθειες για σχεδιασμό νέων, βελτιωμένων συστημάτων.

Το ζήτημα των υπολειμμάτων

Παρόλο που η κοινότητα των συντηρητών αναγνώρισε εξ αρχής τις προοπτικές που δημιουργούσαν τα νεοεισαχθέντα συστήματα γελών για την αναβάθμιση των εργασιών καθαρισμού ήδη από τη δεκαετία του '80, υπήρξε ένα μεγάλο μέρος της κοινότητας συντηρητών που εκδήλωσε ανησυχία σχετικά με τα υπολείμματα που ενδεχομένως παρέμεναν πάνω στις επιφάνειες των αντικειμένων μετά την εφαρμογή και αφαίρεσή τους. Αυτή η ανησυχία προέκυψε από το γεγονός ότι, σε αντίθεση με τα ελεύθερης ροής υγρά που χρησιμοποιούνταν μέχρι τότε για εργασίες καθαρισμού (π.χ. νερό, διαλύτες) που είναι κατά το πλείστον πτητικά, τα συστήματα γελών περιέχουν και συστατικά που δεν είναι πτητικά (π.χ. πολυμερή που χρησιμοποιούνται για την πηκτωματοποίηση). Πράγματι, έχει επιβεβαιωθεί με φυσικοχημικές τεχνικές πως ορισμένα συστήματα γελών δεν μπορούν να αφαιρεθούν πλήρως από τις επιφάνειες στις οποίες εφαρμόζονται, αφήνοντας πίσω υπολογίσιμη ποσότητα υπολειμμάτων (Bonelli et al., 2016; Khandekar, 2000, 2004a, 2004b; Stulik & Wolbers, 2004; Sun et al., 2015). Αυτό είναι ένα ζήτημα που μέχρι και σήμερα απασχολεί την κοινότητα των συντηρητών διεθνώς, καθώς δεν είναι γνωστό το πώς και πόσο αυτά τα υπολείμματα μπορεί σε βάθος χρόνου να αλληλεπιδράσουν με τα αυθεντικά υλικά των αντικειμένων (Bonelli et al., 2016), προκαλώντας ενδεχομένως επιτάχυνση των διεργασιών φθοράς τους. Ως εκ τούτου, εξακολουθούν να πραγματοποιούνται μελέτες, έως ότου υπάρξουν απαντήσεις στα ερωτήματα που έχουν προκύψει.

Το πρόβλημα των εναπομεινάντων υπολειμμάτων παρουσιάζουν κατά κύριο λόγο και σε μεγάλο βαθμό οι φυσικές γέλες, όπως οι γέλες πολυακρυλικού οξέος και οι γέλες αιθέρων κυτταρίνης. Το γεγονός αυτό είναι απόρροια των χαλαρών δεσμών (π.χ. δυνάμεις van der Waals, ηλεκτροστατικές δυνάμεις ή δυνάμεις δεσμών υδρογόνου) που, όπως αναφέρεται παραπάνω, συγκρατούν τις αλυσίδες των πολυμερών συνδεδεμένες μεταξύ τους στο τρισδιάστατο δίκτυο της γέλης (Sun et al., 2015). Εντούτοις, κάποιες από τις γέλες πολυσακχαριτών, όπως οι γέλες από άγαρ, αν και ανήκουν στις φυσικές γέλες, εμφανίζουν σαφή πλεονεκτήματα ως προς το συγκεκριμένο πρόβλημα χάρη στην πιο σταθερή σύστασή τους, καθώς τα υπολείμματα φαίνεται να μειώνονται

αισθητά σε σχέση με τις προαναφερθείσες γέλες. Ωστόσο, το ζήτημα παραμένει. Αντιθέτως, οι χημικές γέλες, χάρη στους ισχυρούς ομοιοπολικούς δεσμούς που αναπτύσσονται μεταξύ των πολυμερικών αλυσίδων κατά τον σχηματισμό του τρισδιάστατου δικτύου γέλης (op. cit.), έχουν πιο συμπαγή και σταθερή σύσταση, με αποτέλεσμα να αφαιρούνται αβίαστα από τις ποικίλες επιφάνειες, ελαχιστοποιώντας τα εναπομείναντα υπολείμματα στο μέγιστο δυνατό βαθμό (συχνά έως εξαλείψεως των) (Bonelli et al., 2016). Όπως γίνεται αντιληπτό, το ζήτημα των υπολειμμάτων συνδέεται στενά με τις ρεολογικές ιδιότητες των συστημάτων.

Βέβαια, εκτός από τα ίδια τα υπολείμματα που είναι το σημαντικότερο μειονέκτημα που παρουσιάζουν οι γέλες, υφίσταται ένα ακόμα σημαντικό πρόβλημα σχετιζόμενο με την παρουσία υπολειμμάτων, ήτοι η ανάγκη για εφαρμογή διαδικασίας έκπλυσης (μετά την αφαίρεση της γέλης) για την αφαίρεσή τους από την καθαριζόμενη επιφάνεια. Για την έκπλυση συχνά χρησιμοποιείται ο ίδιος διαλύτης (ή μίξεις των διαλυτών) που είναι ενσωματωμένος (πηκτωματοποιημένος) στο εκάστοτε σύστημα γέλης, ή άλλοι διαλύτες που κρίνονται κατάλληλοι κατά περίπτωση, και εφαρμόζονται με χρήση μπατονέτας βαμβακιού, όπως θα γινόταν δηλαδή και σε μια παραδοσιακή εργασία καθαρισμού με χρήση ελεύθερων υγρών. Δεδομένου ότι τα συστήματα γελών επιλέγονται συνήθως προκειμένου να αποφευχθούν τα προβλήματα που παρουσιάζει η παραδοσιακή μέθοδος καθαρισμού, είναι σαφές πως η τελική διαδικασία έκπλυσης (όπου απαιτείται) αναιρεί – εν μέρει – τον αρχικό σκοπό της χρήσης τους (Bonelli et al., 2016). Ταυτόχρονα, η αφαίρεση υπολειμμάτων γελών από την επιφάνεια ενός αντικειμένου απαιτεί συνήθως εφαρμογή μηχανικής δράσης, ιδιαίτερα όταν η επιφάνεια φέρει βαθιές ρωγματώσεις, εκδορές, τρύπες ή άλλες ανωμαλίες (Stulik & Miller, 2004), γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε άλλα ανεπιθύμητα προβλήματα. Για παράδειγμα, μπορεί να δημιουργηθούν εκδορές στην επιφάνεια ή να προκληθεί αφαίρεση άλλων στρωμάτων, τα οποία δεν είναι επιθυμητό να αφαιρεθούν.

Σημειώνεται κλείνοντας ότι η διαδικασία της έκπλυσης απαιτείται ως επί το πλείστον για τα συστήματα που αποθέτουν τις μεγαλύτερες ποσότητες υπολειμμάτων μετά τη χρήση τους (π.χ. γέλες πολυακρυλικού οξέος). Στα υπόλοιπα συστήματα, τα οποία έχουν σχεδιαστεί με σκοπό να περιορίσουν αυτό το πρόβλημα, τα υπολείμματα είναι εμφανώς λιγότερα, και έτσι, αν και απαιτείται συχνά μια ήπια διαδικασία έκπλυσης (όχι πάντα), δεν είναι τόσο επεμβατική όσο στα πρώτα συστήματα. Τέλος, αναφέρεται ότι για τις χημικές γέλες συνήθως δεν απαιτείται έκπλυση μετά την εφαρμογή τους, καθώς δεν αφήνουν υπολείμματα (Bonelli et al., 2016).

1.2.7. Γέλες στη συντήρηση φορητών εικόνων

Όπως προκύπτει από το [υποκεφάλαιο 1.2.3](#), οι φορητές θρησκευτικές εικόνες - όπως και όλα τα κινητά ζωγραφικά έργα τέχνης - χρήζουν συχνά αφαίρεσης διαφόρων ανεπιθύμητων στρωμάτων στο πλαίσιο των εργασιών συντήρησης, όπως στρώματα εξωγενών επικαθίσεων, αλλοιωμένου βερνικιού (αυθεντικού ή μη) και επιζωγραφίσεων. Ωστόσο, συχνά, όπως αναφέρεται στο [υποκεφάλαιο 1.2.4](#), οι «παραδοσιακές» μέθοδοι καθαρισμού αποδεικνύονται ακατάλληλες ή δεν επιτελούν το σκοπό τους στο μέγιστο βαθμό. Έτσι, τα τελευταία χρόνια γίνεται όλο και μεγαλύτερη προσπάθεια ένταξης των ποικίλων συστημάτων γελών στις επεμβάσεις καθαρισμού φορητών εικόνων, καθώς είναι πλέον αποδεκτό ότι εμφανίζουν πολλά πλεονεκτήματα, ενώ, με

σωστό χειρισμό, μπορούν να επιλύσουν διάφορα από τα προβλήματα που προκύπτουν με τις παραδοσιακές μεθόδους. Ωστόσο, αν και η χρήση των συστημάτων γελών είναι σταδιακά αυξανόμενη στο συγκεκριμένο είδος αντικειμένων, κρίνεται ότι χρειάζεται ακόμα αρκετός χρόνος και προσπάθεια για να παγιωθεί η χρήση τους στον ελλαδικό χώρο.

Μέχρι στιγμής, οι επίσημα καταγεγραμμένες εφαρμογές γελών σε τυπικές φορητές εικόνες (αυγοτέμπερα σε κατάλληλα προετοιμασμένο ξύλινο φορέα) είναι περιορισμένες. Ενδιαφέρον φαίνεται να έχουν προσελκύσει τα συστήματα πολυβινυλικής αλκοόλης και μερικώς υδρολυμένου οξικού πολυβινυλεστέρα σε συνδυασμό με βόρακα (βλ. Carretti et al., 2010b; Lazidou et al., 2019; Varadinova-Papadaki, 2017), λόγω των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών τους. Σημειώνεται δε ότι, λόγω της συγγένειας των υλικών με αυτά των φορητών εικόνων, το σύστημα αυτό έχει εφαρμοστεί επίσης σε ξύλινη κορνίζα με επαργύρωση (βλ. Carretti et al., 2010a). Δοκιμές έχουν γίνει επίσης με το σύστημα του καρβαμιδικού πολυαλλυλαμμωνίου (βλ. Carretti et al., 2010a), ενώ αυτό έχει εφαρμοστεί επίσης σε ξύλινη κορνίζα με επιχρύωση (βλ. Carretti et al., 2008). Επιπλέον, έχουν καταγραφεί εφαρμογές ορισμένων συστημάτων αιθέρων κυτταρίνης (όπως HPMC – Hydroxypropyl methyl cellulose και HPC – Hydroxypropyl cellulose) (βλ. Bakalariou & Theodorakopoulos, 2013; Galatis et al., 2012; Melchiorre et al., 2019), καθώς και συστήματα πολυακρυλικού οξέος (βλ. Bakalariou & Theodorakopoulos, 2013). Τέλος, έχει πραγματοποιηθεί και χρήση συστημάτων από άγαρ (βλ. Michescu et al., 2017). Τα τελευταία έχουν χρησιμοποιηθεί επίσης σε θρησκευτική εικόνα ζωγραφισμένη με αυγοτέμπερα σε γυάλινο υπόστρωμα, σε ξύλινη σκαλιστή πόρτα ζωγραφισμένη με αυγοτέμπερα (op. cit.), καθώς και σε ξύλινο σταυρό ζωγραφισμένο με αυγοτέμπερα (βλ. Cremonesi, 2013). Είναι γεγονός πως για την αφαίρεση των επικαλυπτικών που συνηθίζεται να εντοπίζονται στις φορητές εικόνες – ιδίως λόγω της έντονης οξειδωσης που συχνά έχουν υποστεί – χρειάζονται συνήθως πολικοί οργανικοί διαλύτες (Λαζίδου & Δροσάκη, 2008; Stassinopoulos, 2006). Ακριβώς για αυτό το λόγο, όπως προκύπτει και από τη βιβλιογραφία, αξιοποιούνται κατά κύριο λόγο συστήματα γελών τα οποία έχουν την ικανότητα να εμπεριέχουν σημαντικές ποσότητες οργανικών διαλυτών.

Βάσει των όσων αναφέρθηκαν νωρίτερα, οι γέλες που μπορούν κατά κόρον να επιτελέσουν αυτό το σκοπό είναι οι γέλες πολυακρυλικού οξέος (βλ. [υποκεφάλαιο 1.2.6](#)). Ωστόσο, αν και έχουν δοκιμαστεί εκτενώς σε πλήθος περιπτώσεων έργων τέχνης σε καμβά, η διερεύνηση της χρήσης τους και οι εφαρμογές τους σε φορητές εικόνες είναι πολύ περιορισμένες. Την ίδια στιγμή, εντύπωση προκαλεί το γεγονός πως, παρότι υπάρχουν προφορικές μαρτυρίες για τη χρήση γελών πολυακρυλικού οξέος στη συντήρηση φορητών εικόνων στον ελλαδικό χώρο, οι σχετικές καταγεγραμμένες /δημοσιευμένες αναφορές είναι ελάχιστες όπως προκύπτει από την προηγηθείσα ανασκόπηση. Επιπλέον, ενώ οι γέλες αυτές είναι πλέον εξαιρετικά διαδεδομένες διεθνώς στο πεδίο της συντήρησης αντικειμένων πολιτισμικής κληρονομιάς, τα υλικά για την παρασκευή τους δεν είναι ευρέως διαθέσιμα στα καταστήματα υλικών συντήρησης του ελλαδικού χώρου. Λόγω όλων των προαναφερθέντων ζητημάτων, κρίθηκε σκόπιμο να αποτελέσουν το ένα εκ των συστημάτων που θα παρασκευαστεί και θα εφαρμοστεί διερευνητικά στο πλαίσιο της παρούσας πτυχιακής εργασίας.

Από την άλλη, κρίθηκε θεμιτό να δοκιμαστεί και ένα σύστημα με πολύ διαφορετικά χαρακτηριστικά από αυτά των γελών πολυακρυλικού οξέος. Έτσι, θεωρήθηκαν ιδανική περίπτωση τα συστήματα μερικώς υδρολυμένου οξικού πολυβινυλεστέρα με βόρακα, τα οποία έχουν τη δυνατότητα να εμπεριέχουν σημαντικές ποσότητες ορισμένων οργανικών διαλυτών που συχνά χρησιμοποιούνται για την αφαίρεση επικαλυπτικών υλικών. Την ίδια

στιγμή, λόγω της εύπλαστης φύσης τους, κρίθηκε πως ήταν ενδιαφέρον να δοκιμαστούν ειδικά στην εικόνα του Αγίου Νικολάου (Εικ. 1.1-1), μιας και το εν λόγω έργο φέρει ξυλόγλυπτο πλαίσιο και επομένως κάποιες περιοχές του φέρουν έναν παραπάνω – λόγω αναγλυφότητας – βαθμό δυσκολίας όσον αφορά τον καθαρισμό. Αν και οι γέλες αυτές έχουν αρχίσει να διαδίδονται αρκετά τις τελευταίες δύο δεκαετίες, στον ελλαδικό χώρο έκαναν την εμφάνισή τους πολύ πρόσφατα (βλ. Lazidou et al., 2019), κάτι που άλλωστε είναι και αναμενόμενο, καθώς το συγκεκριμένο πολυμερές δεν κατέστη δυνατό να εντοπιστεί στον ελλαδικό χώρο στο πλαίσιο της παρούσας πτυχιακής.

Περαιτέρω πληροφορίες για τα δύο αυτά συστήματα γελών που αποφασίστηκε να χρησιμοποιηθούν στο πλαίσιο της εργασίας δίνονται στο επόμενο υποκεφάλαιο.

1.2.8. Εμβάθυνση στα συστήματα γελών που θα χρησιμοποιηθούν για το πειραματικό μέρος

1.2.8.1. Γέλες πολυακρυλικού οξέος

Όπως αναφέρεται παραπάνω, στο τέλος της δεκαετίας του '80 εισήχθη στο πεδίο της συντήρησης η χρήση πηκτωματοποιημένων συστημάτων, δηλαδή γελών, για εργασίες καθαρισμού. Συγκεκριμένα, εισήχθη – ανάμεσα σε άλλες – μια κατηγορία φυσικών γελών που χρησιμοποιούν πολυακρυλικό οξύ (π.χ. Carborols, Remulens) ως πηκτωματοποιητή του συστήματος (Baglioni et al., 2014). Αν και μακροσκοπικά θυμίζουν γέλες, στην πραγματικότητα λόγω της ρεολογικής συμπεριφοράς τους δεν μπορούν να ενταχθούν σε αυτή την ομάδα υλικών, καθώς αποτελούν απλώς (αρκετά) παχύρρευστα συστήματα. Ωστόσο, για πρακτικούς λόγους έχει καθιερωθεί να αποκαλούνται «γέλες» (Bonelli et al., 2016) (αν και συχνά περιγράφονται και με άλλους όρους, όπως thickeners, πηκτικά μέσα– thickening agents ή τροποποιητές ιξώδους–viscosity modifiers). Οι συγκεκριμένες λουπόν «γέλες» έχουν τη δυνατότητα να πηκτωματοποιήσουν οργανικούς διαλύτες (υψηλής ή χαμηλής πολικότητας) και υδατικά διαλύματα (Baglioni et al., 2014), αλλά έχουν γίνει γνωστές κυρίως ως «γέλες διαλυτών». Στα συστήματα αυτά μπορούν να προστεθούν επίσης απορρυπαντικά/ ταισενεργά και ένζυμα (Baglioni et al., 2015a). Από όταν παρουσιάστηκαν μέχρι και σήμερα βρίσκουν ποικίλες εφαρμογές για εργασίες καθαρισμού, και ιδιαίτερα για αφαίρεση κεριών και φυσικών ρητινών (Pizzorusso et al., 2012). Όσον αφορά τη χρήση τους για καθαρισμό ζωγραφικών επιφανειών, έχουν καταγραφεί ποικίλες περιπτώσεις (βλ. Khandekar, 2000, 2004b; Wolbers, 2000) ήδη από τις αρχές της παρουσίας τους, με το μεγαλύτερο πεδίο εφαρμογής τους να αποτελούν τα ζωγραφικά έργα σε καμβά με χρώματα λαδιού.

Η προετοιμασία ενός τέτοιου συστήματος απαιτεί τη διασπορά του πολυμερούς (π.χ. Carborol) σε ένα διαλύτη, με προσθήκη μιας ασθενώς βασικής, μη ιονικής επιφανειοδραστικής ουσίας (π.χ. Ethomeen) μαζί με μια μικρή ποσότητα νερού (Bonelli et al., 2016). Οι αλυσίδες του πολυακρυλικού οξέος βρίσκονται αρχικά σε

διπλωμένη διάρθρωση (σε χαμηλές τιμές pH), επειδή οι καρβοξυλικές τους ομάδες έρχονται κοντά μεταξύ τους και ενώνονται με δεσμούς υδρογόνου. Έτσι, προκειμένου να ληφθεί το σύστημα γέλης, το πολυακρυλικό οξύ υποβάλλεται στην ουσία σε αντίδραση με μία βάση (εξουδετέρωση) με σκοπό να προκληθεί αποπρωτονίωση της καρβοξυλικής του ομάδας (-COOH) και να παραχθούν αρνητικά φορτισμένα καρβοξυλικά ιόντα (-COO⁻). Μεταξύ αυτών των αρνητικά φορτισμένων ομάδων που παράγονται, προκαλούνται απωστικές δυνάμεις, οι οποίες τροποποιούν τις ενδο- και δια-μοριακές αλληλεπιδράσεις των αλυσίδων του πολυμερούς και προκαλούν το «ξετύλιγμα» τους από την προηγουμένως διπλωμένη διάρθρωσή τους και έτσι παίρνουν τυχαία σπειροειδή διάταξη. Τότε, σχηματίζονται δεσμοί υδρογόνου ανάμεσα σε διαφορετικές αλυσίδες και αρχίζει να διαμορφώνεται ένα τρισδιάστατο δίκτυο, που συνεπάγεται το σχηματισμό μιας διάφανης, μονοφασικής, παχύρρευστης γέλης, που η υφή της θυμίζει πάστα ή μαρμελάδα (Baglioni et al., 2014; Carretti & Dei, 2006; Carretti et al., 2005).

Για παρασκευή γελών που περιέχουν οργανικούς διαλύτες, η διαδικασία της αποπρωτονίωσης επιτυγχάνεται συνήθως με προσθήκη μιας μη ιονικής επιφανειοδραστικής ουσίας που ανήκει στην ομάδα των κοκοαμινών (για παράδειγμα Ethomeen C12 για χαμηλής πολικότητας διαλύτες ή Ethomeen C25 για υψηλής πολικότητας διαλύτες και υδατικά διαλύματα), η οποία χαρακτηρίζεται από ασθενείς βασικές ιδιότητες. Οι ιδιότητες της πηκτωματοποίησης του πολυμερούς εξαρτώνται από τα μήκη των αλκυλικών αλυσίδων του Ethomeen. Για παρασκευή γελών που περιέχουν υδατικά συστήματα, η αποπρωτονίωση προκαλείται με την προσθήκη μιας ανόργανης βάσης (όπως NaOH ή NH₃) (Baglioni et al., 2014; Carretti & Dei, 2006; Carretti et al., 2005; Wolbers, 2000).

Όταν τα συστήματα αυτά παρασκευαστούν και είναι έτοιμα για χρήση, είναι συνήθως διαφανή ή ενδέχεται να έχουν κεχριμπαρένιο χρώμα στην περίπτωση αποχρωματισμού των αμινών που περιέχουν (που προέρχονται από το Ethomeen) (Stavroutidis, 2017). Για την παρασκευή και φύλαξή τους συστήνεται χρήση δοχείων που να σφραγίζουν αεροστεγώς και να αποτελούνται από πολυαιθυλένιο ή πολυπροπυλένιο, ή εναλλακτικά από γυαλί με πώμα που να μην αντιδρά με διαλύτες, ιδανικά επενδυμένο με Teflon (Stavroutidis, 2017; Williams & Doyle, 2010). Η εφαρμογή τους σε ζωγραφικές επιφάνειες μπορεί να γίνει κυρίως με δύο τρόπους: α) εφαρμογή μιας ποσότητας γέλης σε μια καθορισμένη περιοχή της επιφάνειας χωρίς κάποια επιπλέον ενέργεια, αφήνοντάς τη να δράσει για ≤ 1 λεπτό, β) εφαρμογή της γέλης με τη χρήση πινέλου ή μπατονέτας, εφαρμόζοντας σκόπιμα ήπια μηχανική δράση στη ζωγραφική επιφάνεια, π.χ. ανακινώντας τη γέλη με χρήση πινέλου (Carretti & Dei, 2006; Carretti et al., 2005). Στη συνέχεια, η αφαίρεσή τους από την επιφάνεια πραγματοποιείται συνήθως με στεγνή μπατονέτα βαμβακιού και ακολουθεί μία ή παραπάνω εκπλύσεις της περιοχής (Wolbers, 2000), συχνά με τους ίδιους διαλύτες που εμπεριέχονται στο σύστημα (Baglioni et al., 2014), με τη βοήθεια μπατονέτας βαμβακιού, για απομάκρυνση των υπολειμμάτων. Ωστόσο, η έκπλυση αυτών των συστημάτων μπορεί να γίνει με ένα μεγάλο εύρος διαλυτών, ακόμα και με πιο «αδύναμους» (ήτοι λιγότερο πολικούς) από αυτούς που περιέχονται στο σύστημα (Wolbers, 2017), πρακτική που σύμφωνα με τον Stavroutidis (2017) συχνά προτιμάται, ώστε να μην επηρεαστεί το αποτέλεσμα που έχει ήδη επιτευχθεί. Ο ίδιος συγγραφέας (Stavroutidis, 2017) υπογραμμίζει επίσης ότι είναι σημαντικό ο κατάλληλος διαλύτης/μίξη διαλυτών για την έκπλυση να καθορίζεται προτού η γέλη εφαρμοστεί στο έργο, ενώ παράσχει και σχετική μεθοδολογία ώστε να καθοριστεί αν ο διαλύτης/μίξη διαλυτών που επιλέχθηκε είναι πράγματι κατάλληλος για την αφαίρεση των υπολειμμάτων.

Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός πως, σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, όταν ένας διαλύτης υποβάλλεται σε πηκτωματοποίηση με πολυακρυλικό οξύ και βρίσκεται πλέον υπό τη μορφή γέλης, παρουσιάζει μεγαλύτερη ικανότητα διαλυτοποίησης του εκάστοτε υλικού σε σχέση με τον ίδιο διαλύτη σε ελεύθερη μορφή. Το γεγονός αυτό παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον και είναι σαφώς ένα χρήσιμο χαρακτηριστικό που μπορεί κανείς να εκμεταλλευτεί στο πλαίσιο μιας διαδικασίας καθαρισμού (Khandekar, 2004c).

Παρότι οι γέλες πολυακρυλικού οξέος χρησιμοποιούνται μέχρι σήμερα λόγω της αποτελεσματικότητας και της ευελιξίας που παρουσιάζουν, προκαλούν προβληματισμό λόγω των υπολειμμάτων που ενδεχομένως αφήνουν στις επιφάνειες των αντικειμένων, όπως αναφέρεται παραπάνω (βλ. [υποκεφάλαιο 1.2.6](#)).

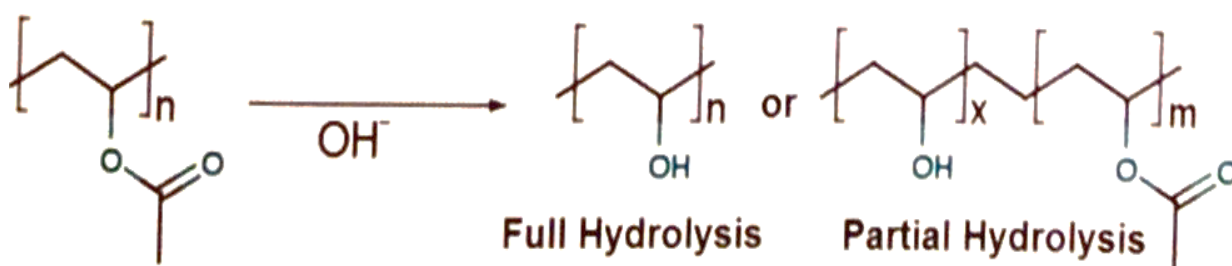
1.2.8.2. Πολυμερικές διασπορές υψηλού ιξώδους PVA ή PVAc, με βόρακα

Την τελευταία δεκαετία, τα βλήματα της κοινότητας των συντηρητών επικεντρώθηκαν σε μια ακόμα ομάδα υδατικών συστημάτων, τις λεγόμενες «πολυμερικές διασπορές υψηλού ιξώδους» (Highly Viscous Polymeric Dispersions / HPVDs). Σε αυτή την ομάδα ανήκουν τα συστήματα πολυβινυλικής αλκοόλης-βόρακα (poly(vinyl alcohol)-borax ή PVA-b) και μερικώς υδρολυμένου οξικού πολυβινυλεστέρα-βόρακα (partially hydrolyzed poly(vinyl acetate)-borax ή PVAc-b) (Baglioni et al., 2014, 2015b). Αν και μοιάζουν με γέλες, λόγω των ρεολογικών χαρακτηριστικών τους δεν μπορούν να καταταχθούν αυστηρά σε αυτή την ομάδα υλικών, γι αυτό και χαρακτηρίζονται ως πολυμερικές διασπορές υψηλού ιξώδους (op. cit.). Ωστόσο, συχνά αναφέρονται για συντομία ως «γέλες». Δε διευκρινίζεται εάν αυτά τα συστήματα συγκαταλέγονται στις φυσικές ή στις χημικές γέλες, καθώς οι Riedo et al. (2015) αναφέρουν πως αυτό το ζήτημα είναι αμφιλεγόμενο και έχουν προταθεί δύο διαφορετικά μοντέλα. Ταυτόχρονα, κατά τους Angelova et al. (2017), αν και οι δεσμοί στις διασταυρώσεις του πλέγματος παραπέμπουν σε χημική γέλη, η αύξηση της θερμοκρασίας του συστήματος μπορεί να προκαλέσει την επιστροφή στην υγρή του κατάσταση, γεγονός που παραπέμπει σε φυσική γέλη.

Τα τελευταία χρόνια, αυτά τα συστήματα έχουν μελετηθεί και δοκιμαστεί επανειλημμένα (βλ. Angelova et al., 2011, 2013; Carretti et al., 2009, 2010, 2014; Duncan et al., 2016, 2017; Elsayed, 2019; Lazidou et al., 2019; Natali et al., 2011; Riedo et al., 2015) με αρκετά ενθαρρυντικά αποτελέσματα. Μελετήθηκαν αρχικά με στόχο να αναπτυχθεί μια νέα ομάδα πολυμερικών υδρογελών για χρήση σε κινητά ζωγραφικά έργα τέχνης (ζωγραφικά έργα τέχνης σε καμβά ή ξύλο) και αγάλματα, που να έχουν τη δυνατότητα να υποστηρίξουν κάποιες μεταβλητές ποσότητες οργανικών υγρών και ταυτόχρονα να μπορούν να αφαιρεθούν με ευκολία από μια επιφάνεια μετά την εφαρμογή τους (Carretti et al. 2009). Μέχρι σήμερα, έχουν εφαρμοστεί επανειλημμένα σε ποικίλες ζωγραφικές επιφάνειες (βλ. Angelova et al., 2013; Carretti et al. 2009, 2010b, 2014; Duncan et al., 2017; Elsayed, 2019; Lazidou et al., 2019).

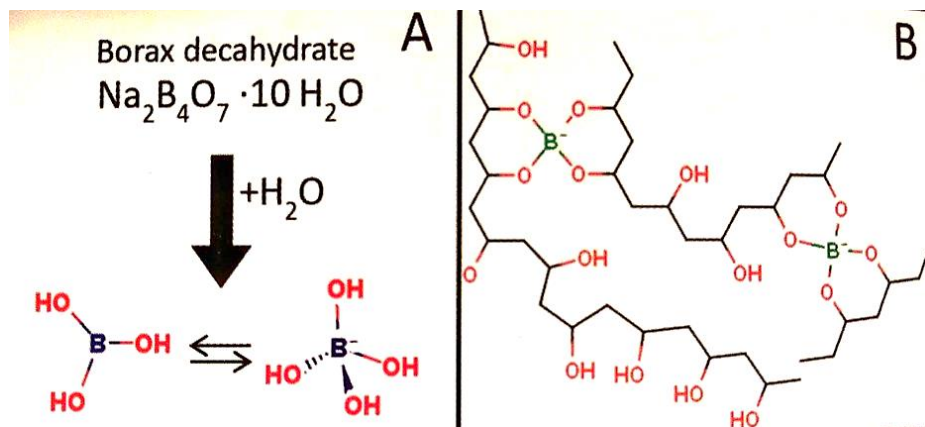
Αρχικά, για την καλύτερη κατανόηση του θέματος κρίνεται απαραίτητο να προσδιοριστεί η σχέση της πολυβινυλικής αλκοόλης (PVA) με τον οξικό πολυβινυλεστέρα (PVAc), καθώς και τι σημαίνει «μερικώς

υδρολυμένος οξικός πολυβινυλεστέρας». Η πολυβινυλική αλκοόλη προκύπτει από αντίδραση υδρόλυσης του οξικού πολυβινυλεστέρα (Εικ. 1.2.8.2-1). Το πόσο θα προχωρήσει η αντίδραση της υδρόλυσης καθορίζει την αναλογία των ομάδων οξικών ανιόντων ($-\text{CH}_3\text{COO}^-$) (πρόκειται για οξικές ομάδες του πολυμερούς που παρέμειναν ανέπαφες) προς τις υδροξυομάδες ($-\text{OH}$) (ομάδες που προέκυψαν από την αντίδραση υδρόλυσης) που θα υπάρχουν στο πολυμερές που θα παραχθεί. Όταν πραγματοποιείται πλήρης υδρόλυση, σχεδόν όλες οι οξικές ομάδες του οξικού πολυβινυλεστέρα αντιδρούν παράγοντας υδροξυομάδες και τότε το προϊόν που προκύπτει (το οποίο είναι πολυμερές) καλείται πολυβινυλική αλκοόλη (PVA). Όταν όμως πραγματοποιείται μερική υδρόλυση δεν αντιδρούν όλες οι οξικές ομάδες, με αποτέλεσμα το παραγόμενο πολυμερές να περιέχει και οξικές ομάδες και υδροξυομάδες (Angelova et al., 2017). Τότε γίνεται λόγος για «μερικώς υδρολυμένο οξικό πολυβινυλεστέρα» (Εικ. 1.2.8.2-1) κατά x ποσοστό (π.χ. όταν οι μισές οξικές ομάδες έχουν αντικατασταθεί από υδροξυομάδες, λέμε ότι έχουμε «50% υδρολυμένο οξικό πολυβινυλεστέρα»).



Εικ. 1.2.8.2-1. Η αντίδραση υδρόλυσης που συνήθως χρησιμοποιείται για την παραγωγή πολυβινυλικής αλκοόλης και μερικώς υδρολυμένου οξικού πολυβινυλεστέρα από οξικό πολυβινυλεστέρα. Πηγή: Angelova et al, (2017), Poly(vinyl alcohol)-borax 'gels': a flexible cleaning option, in : Gels in the conservation of art, (Eds: L.V. Angelova, B. Ormsby, J. H. Townsend & R. Wolbers), Archetype Publications, London, U.K., 231-236 pp. Copyright © 2017 the authors and Archetype Publications. Αναπαραγωγή με άδεια από τον εκδοτικό οίκο και τους συγγραφείς.

Σε αυτά τα συστήματα «γελών», ο σχηματισμός του τρισδιάστατου πλέγματος PVA ή μερικώς υδρολυμένου PVAc που συγκρατεί το νερό, διαμορφώνεται από την προσθήκη ενός διασταυρωτή (cross-linker), ρόλο που συνήθως αναλαμβάνουν βορικά ιόντα που προέρχονται από το δεκαϋδρικό τετραβορικό νάτριο, ή κοινώς βόρακα (borax) (ο βόρακας όταν διαλυθεί σε νερό διασπάται προς σχηματισμό βορικού οξέος και βορικών ιόντων) (Εικ. 1.2.8.2-2A) (Angelova et al., 2017; Carretti et al., 2009). Έτσι, για να σχηματιστεί η απλούστερη πολυμερική διασπορά αυτού του είδους, τα απαραίτητα συστατικά είναι το πολυμερές, βόρακας και νερό. Αρχικά, παρασκευάζονται δύο υδατικά διαλύματα, εκ των οποίων το ένα περιέχει το πολυμερές και το άλλο τον βόρακα, που στη συνέχεια αναμειγνύονται και αναδεύονται. Η «γέλη» σχηματίζεται κατά την ανάμειξη. Σε περίπτωση που είναι θεμιτό να συμπεριληφθεί στο σύστημα κάποιο άλλο μέσο καθαρισμού (π.χ. οργανικός διαλύτης, επιφανειοδραστική ουσία), τότε αυτό προστίθεται στο υδατικό διάλυμα που περιέχει το πολυμερές. Ουσιαστικά, όταν αναμειγνύονται τα δύο διαλύματα, λαμβάνει χώρα αντίδραση αφυδάτωσης μεταξύ ενός βορικού ιόντος και τεσσάρων υδροξυομάδων του πολυμερούς (δύο γειτονικές υδροξυομάδες μιας αλυσίδας και άλλες δύο της ίδιας ή άλλης αλυσίδας) και έτσι οι αλυσίδες διασταυρώνονται μεταξύ τους, σχηματίζοντας το τρισδιάστατο δίκτυο (Εικ. 1.2.8.2-2B) (Angelova et al., 2013, 2017).



Εικ. 1.2.8.2-2. Α) Σχηματισμός βορικού οξέος και βορικού ιόντος από δεκαϋδρικό τετραβορικό νάτριο (βόρακα), Β) Εστερικές διασταυρώσεις που σχηματίζονται μεταξύ πολυβινυλικής αλκοόλης και βορικών ιόντων μέσω αντιδράσεων αφυδάτωσης. Πηγή: Angelova et al., (2017), Poly(vinyl alcohol)-borax 'gels': a flexible cleaning option, in: Gels in the conservation of art, (Eds: L.V. Angelova, B. Ormsby, J. H. Townsend & R. Wolbers), Archetype Publications, London, U.K., 231-236 pp. Copyright ©2017 the authors and Archetype Publications. Αναπαράγωγή με άδεια από τον εκδοτικό οίκο και τους συγγραφείς.

Οι «γέλες» που προκύπτουν είναι διαφανείς ή ημιδιαφανείς (Angelova et al., 2011; Duncan et al., 2016), μαλακές, και η υφή τους χαρακτηρίζεται από σχετικά μεγάλο ιξώδες (προσομοιάζουν με πυκνόρευστο χυλό) γεγονός που επιτρέπει να διαμορφωθούν στο επιθυμητό σχήμα (Angelova et al., 2017) καθώς είναι ελαστικές και διατηρούν το σχήμα τους. Μάλιστα, ιδιαίτερο χαρακτηριστικό τους είναι ότι, χάρη στην εύπλαστη φύση τους, έχουν τη δυνατότητα να παρουσιάζουν καλή επαφή σε μορφολογικά ανομοιομορφες επιφάνειες (Duncan et al., 2017). Έτσι λοιπόν, για την εφαρμογή τους σε μια επιφάνεια, είτε εναποτίθενται απευθείας πάνω σε αυτή και διαμορφώνονται-«απλώνονται» στην επιθυμητή περιοχή με τη βοήθεια σπάτουλας, είτε το σχήμα τους διαμορφώνεται πρώτα και ύστερα εφαρμόζονται στην επιφάνεια με τη βοήθεια σπάτουλας. Για τη σταδιακή, ελεγχόμενη αφαίρεση των ανεπιθύμητων στρωμάτων («καθαρισμός»), προτείνονται επαναλαμβανόμενες εφαρμογές με διάρκεια μερικών λεπτών (συνήθως 1-4 λεπτά) (Baglioni et al., 2015b). Για μεγαλύτερους χρόνους επαφής, προτείνεται τοποθέτηση πλαστικής μεμβράνης ή φιλμ Melinex πάνω από τη «γέλη» για να μειωθεί η εξάτμιση των υγρών συστατικών του συστήματος (Angelova et al., 2017). Τα στρώματα προς αφαίρεση είτε διαλυτοποιούνται από το σύστημα και εγκλωβίζονται μέσα σ' αυτό με αποτέλεσμα να απομακρύνονται μαζί με το σύστημα κατά την αφαίρεσή του, είτε απλά διογκώνονται και επομένως μετά την αφαίρεση του συστήματος απαιτείται ήπια μηχανική δράση για την απομάκρυνσή τους (Baglioni et al., 2015b) με χρήση μπατονέτας βαμβακιού και νερού/μίξης νερού-διαλύτη που περιέχεται στο σύστημα (Angelova et al., 2017). Λόγω της μεγάλης ελαστικότητας και συνοχής που παρουσιάζουν αυτές οι πολυμερικές διασπορές, έχουν τη δυνατότητα να αφαιρούνται από μια επιφάνεια σε ένα μόνο βήμα, στην ουσία απλά «ξεφλουδίζοντάς» τες, με τη βοήθεια μιας σπάτουλας ή λαβίδας (Baglioni et al., 2015b; Carretti et al., 2009, 2010a), περιορίζοντας έτσι σε μεγάλο βαθμό τον κίνδυνο απόθεσης υπολειμμάτων (Angelova et al., 2017). Επιπλέον, χάρη στην καλή κατακράτηση των υγρών συστατικών τους, τα τελευταία εξαπλώνονται σε πολύ μικρό βαθμό στις γύρω περιοχές, και επομένως τα συστήματα αυτά είναι κατάλληλα για σημειακές εφαρμογές (π.χ. τοπικός καθαρισμός) (Angelova et al., 2013). Μετά την παρασκευή τους μπορούν να αποθηκευτούν σε σφραγισμένα φιαλίδια σε θερμοκρασία δωματίου για μεγάλα χρονικά διαστήματα ώστε να επαναχρησιμοποιηθούν (Baglioni et al., 2015b).

Πρέπει να σημειωθεί πως, παρότι έχει βρεθεί πως τα συστήματα αυτά δεν εναποθέτουν υπολογίσιμες ποσότητες υπολειμμάτων του πολυμερούς στις προς επέμβαση επιφάνειες, δεν ισχύει το ίδιο και για το διασταυρωτή που χρησιμοποιείται, δηλαδή το δεκαϋδρικό βορικό νάτριο. Για λόγους που εξηγούνται από τους Angelova et al. (2013), έχει διαπιστωθεί πως τα συστήματα είναι πιθανό να εναποθέσουν υπολείμματα προερχόμενα από το διασταυρωτή στις επιφάνειες με τις οποίες έρχονται σε επαφή, καθώς ένα μέρος του βορίου παραμένει σε υγρή μορφή μέσα στο κατακρατούμενο από τη γέλη διάλυμα και έτσι αποβάλλεται από τη γέλη κάθε φορά που απελευθερώνεται ποσότητα της κατακρατούμενης υγρής φάσης. Ωστόσο, έχει επίσης διαπιστωθεί πως τα υπολείμματα αυτά ελαχιστοποιούνται αν το επιφανειακό μαλακωμένο στρώμα αφαιρεθεί με χρήση βαμβακοφόρων στυλεών. Επισημαίνεται επιπροσθέτως ότι το φαινόμενο αυτό δεν καταλογίζεται ως μειονέκτημα των συστημάτων αυτών αποκλειστικά, καθώς το ίδιο δύναται να συμβεί και σε κάθε άλλη περίπτωση χρήσης χημικών μέσων καθαρισμού, είτε αυτά βρίσκονται δεσμευμένα σε κάποια γέλη είτε αποτελούν μέρος υδατικών διαλυμάτων (Angelova et al., 2013).

Στο πλαίσιο της μελέτης των συστημάτων αυτών, έχει μελετηθεί η προσθήκη διαφόρων μέσων καθαρισμού σε αυτά, ώστε να μπορούν προσαρμοστούν σε διάφορες περιστάσεις και ανάγκες καθαρισμού. Οι διάφορες τροποποιήσεις του συστήματος που έχουν δοκιμαστεί παρατίθενται από τους Duncan et al. (2017). Συνοπτικά αναφέρεται ότι μπορούν να προστεθούν σε αυτά οργανικοί διαλύτες, χηλικά αντιδραστήρια, και κάποιες επιφανειοδραστικές ουσίες (Angelova et al., 2013).

Τα συστήματα αυτά είναι πιο κατάλληλα για αφαίρεση στρωμάτων επιζωγραφίσεων και βερνικιών (που ενδεχομένως απαιτούν αρωματικούς ή αρκετά πολικούς διαλύτες) και όχι τόσο για αφαίρεση εξωγενών επικαθίσεων (: ρύπων) από ευαίσθητες ζωγραφικές επιφάνειες (π.χ. ακρυλικά χρώματα). Αυτό οφείλεται στην υψηλή πολικότητα και το ελαφρώς βασικό pH³ που παρουσιάζουν. Σημειώνεται δε, ότι δεν ενδείκνυται για χρήση σε πορώδεις επιφάνειες όπως χαρτί, κονίαματα/επιχρίσματα και κάποιους τύπους ξύλου. Σε κάθε περίπτωση, καλό είναι να ελέγχεται πρώτα ότι η «γέλη» μπορεί να αφαιρεθεί με ευκολία από την επιθυμητή επιφάνεια (Angelova et al., 2017).

Τέλος αναφέρεται ότι για τη μελέτη και εφαρμογή του υπόψιν συστήματος, αρχικά χρησιμοποιήθηκε η πολυβινυλική αλκοόλη. Παρά τα καλά αποτελέσματα που παρουσίασε η χρήση του συγκεκριμένου συστήματος, διαπιστώθηκαν και ορισμένοι περιορισμοί καθώς μπορεί να υποστηρίξει μόνο ένα μικρό εύρος οργανικών υγρών / διαλυτών, και μάλιστα σε μικρές ποσότητες. Αυτός ήταν ο λόγος που οδήγησε στην αντικατάσταση της πολυβινυλικής αλκοόλης με μερικώς υδρολυμένο οξικό πολυβινυλεστέρα, αφού το δεύτερο αυτό σύστημα – χάρη στις οξικές ομάδες που υπάρχουν στις αλυσίδες του πολυμερούς – μπορεί να υποστηρίξει μεγαλύτερο εύρος οργανικών διαλυτών και σε μεγαλύτερες ποσότητες (Angelova et al., 2011, 2013; Baglioni et al., 2015b; Natali et al., 2011). Ενδεικτικά αναφέρονται μερικοί από τους πολικούς οργανικούς διαλύτες που μπορεί να υποστηρίξει ο μερικώς υδρολυμένος οξικός πολυβινυλεστέρας όπως ακετόνη, μεθανόλη, αιθανόλη, 1- και 2- προπανάλη, N- μέθυλ-πυρρολιδόνη, κ.α. (Angelova et al., 2017).

—◆◆—
³ Σύμφωνα με τους Angelova et al. (2013, 3) το pH απαιτείται να είναι μεγαλύτερο του 7.5-8 και μικρότερο του 9-10 για να σχηματιστεί το σύστημα.

1.2.9. Μέθοδοι προσδιορισμού αποτελεσματικότητας γελών

Εφόσον πραγματοποιηθεί μία μελέτη ή απλώς πιλοτικές εφαρμογές ορισμένων συστημάτων γελών προκειμένου να βρεθεί το βέλτιστο σύστημα για τον καθαρισμό ενός αντικειμένου, είναι αναγκαίο να βρεθούν και τρόποι, ώστε να προσδιοριστεί τεκμηριωμένα η αποτελεσματικότητα του κάθε συστήματος και της κάθε δοκιμής. Στην πραγματικότητα, ο πιο απλός και εύκολος τρόπος για να εκτιμηθεί σε τι βαθμό ένα σύστημα γέλης αφαίρεσε ένα ανεπιθύμητο στρώμα, είναι η οπτική/μακροσκοπική εξέταση του αντικειμένου, ώστε να παρατηρηθεί αν αποκαταστάθηκαν οι αρχικές οπτικές⁴ του ιδιότητες. Ωστόσο, αυτή η μέθοδος δεν είναι πλήρως ικανοποιητική, καθώς, αφενώς μεν ένα αποτέλεσμα μπορεί να ερμηνευτεί διαφορετικά από διαφορετικούς ανθρώπους, αφετέρου δε η απλή μακροσκοπική εξέταση δε δύναται πάντοτε να αποκαλύψει κρίσιμες λεπτομέρειες της εξεταζόμενης επιφάνειας (π.χ. παρουσία λιγιστών υπολειμμάτων γέλης ή αλλοιώσεις χρωματικών στρωμάτων). Συνεπώς, καιτοι όντως απαραίτητη, η μέθοδος δεν μπορεί να θεωρηθεί ως αντικειμενική. Έτσι, μαζί με τη μακροσκοπική οπτική παρατήρηση, είναι θεμιτό να συνδυάζονται η μικροσκοπική παρατήρηση (με χρήση οπτικού μικροσκοπίου ή/ και ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης), καθώς και αναλυτικές φυσικοχημικές τεχνικές ή και άλλες μέθοδοι (Al-Emam et al., 2019). Οι μέθοδοι επιλέγονται κάθε φορά με βάση τις ανάγκες της εκάστοτε περίπτωσης, ενώ σημειώνεται ότι ορισμένες από τις αναλυτικές μεθόδους εφαρμόζονται στα ίδια τα συστήματα γελών, ενώ άλλες στο εκάστοτε αντικείμενο, τόσο πριν όσο και μετά την εφαρμογή των γελών.

Μία από τις πιο συχνά εφαρμοζόμενες αναλυτικές τεχνικές προς διερεύνηση της επιφανειακής κατάστασης των αντικειμένων πριν και μετά την εφαρμογή γελών είναι η Φασματοσκοπία Υπερύθρου με Μετασχηματισμό Fourier (Fourier Transform Infrared ή FTIR Spectroscopy) (op. cit.), ενώ χρησιμοποιείται και μικροσκοπία Υπερύθρου Μετασχηματισμού Fourier δυσδιάστατης απεικόνισης (2D FTIR microscopy), με την οποία πραγματοποιείται μοριακή χαρτογράφηση της επιθυμητής περιοχής, για να προσδιοριστεί η αποτελεσματικότητα της αφαίρεσης των ανεπιθύμητων στρωμάτων, αλλά και η τυχόν παρουσία υπολειμμάτων γελών (Bonelli et al., 2019; Mastrangelo et al., 2020). Εντούτοις, συχνά χρησιμοποιούνται και άλλου είδους μέθοδοι. Ιδιαίτερα σε περιπτώσεις που αφορούν αφαίρεση ενός υδρόφοβου στρώματος (π.χ. βερνίκι) από μια πορώδη (και άρα υδρόφιλη) επιφάνεια, χρησιμοποιούνται μέθοδοι προκειμένου να προσδιοριστεί η ικανότητα διαβροχής της επιφάνειας, τόσο πριν όσο και μετά την εφαρμογή ενός συστήματος γέλης. Για παράδειγμα, μπορεί να μετρηθεί η γωνία επαφής μιας σταγόνας νερού στην επιφάνεια, η τριχοειδής απορρόφηση που επιδεικνύει η περιοχή ή η διαπερατότητα των υδρατμών. Αυτές οι μετρήσεις μπορούν να υποδείξουν εάν μεταβλήθηκε ο υδρόφοβος χαρακτήρας της επιφάνειας και, άρα, εάν απομακρύνθηκε μέρος του υδρόφοβου στρώματος από την επιφάνεια. Μια άλλη εναλλακτική αποτελεί η μέτρηση της μείωσης του πάχους του ανεπιθύμητου στρώματος (π.χ. βερνίκι) με Οπτική Τομογραφία Συνοχής (Optical Coherence Tomography ή OCT) ή με τη βοήθεια τρισδιάστατου (3D) μικροσκοπίου. Ακόμα, μπορούν να πραγματοποιηθούν χρωματομετρικές

⁴ Σημειώνεται ότι δεν είναι πάντοτε εφικτό να προσδιοριστεί ποιες ήταν οι αρχικές οπτικές ιδιότητες του προς καθαρισμό στρώματος και άρα ποιο είναι το βέλτιστο/επιθυμητό αποτέλεσμα καθαρισμού. Επομένως, συνήθως το υπόψιν κριτήριο αξιολογείται υποκειμενικά.

μετρήσεις (π.χ. με τη χρήση φασματομέτρου οπτικών ινών) στην επιφάνεια πριν και μετά τον καθαρισμό, ώστε να διαπιστωθεί εάν υπάρχουν αλλαγές στις χρωματικές παραμέτρους της επιφάνειας (Al-Emam et al., 2019), ενώ η απεικόνιση της ορατής φωταύγειας με διέγερση υπεριώδους ακτινοβολίας (UV induced Luminescence imaging) μπορεί να δείξει αλλαγές στον φθορισμό της επιφάνειας, που να υποδεικνύουν την αφαίρεση ή μη του ανεπιθύμητου στρώματος (Galatis et al., 2012).

Σε ορισμένες περιπτώσεις – και για τον ίδιο σκοπό (προσδιορισμός αποτελεσματικότητας επέμβασης καθαρισμού) – αξιοποιούνται αναλυτικές τεχνικές για την εξέταση των ήδη χρησιμοποιημένων γελών. Για παράδειγμα, οι Sansonetti et al. (2020) εφάρμοσαν Φασματοσκοπία Οπτικής Εκπομπής με Επαγωγικά Συζευγμένο Πλάσμα (Induced Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy ή ICP-OES) για να προσδιοριστεί η ποσότητα χαλκού που απομάκρυναν οι γέλες από μαρμάρινα δοκίμια που είχαν υποστεί τεχνητή βαφή με πράσινο χαλκούχο χρώμα.

Πέρα από την αποτελεσματικότητα των γελών ως προς την αφαίρεση των ανεπιθύμητων στρωμάτων, είναι συχνά επιθυμητό να διαπιστώνεται και η αποτελεσματικότητά τους ως προς τη διατήρηση της ακεραιότητας των αυθεντικών στρωμάτων του ζωγραφικού έργου. Για το σκοπό αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί ανάλυση της γέλης που χρησιμοποιήθηκε, π.χ. με τη μέθοδο της Πυρόλυσης-Αέριας Χρωματογραφίας-Φασματοσκοπίας Μάζας (Pyrolysis Gas Chromatography-Mass Spectroscopy ή Py-GC-MS) ή Φασματοσκοπίας Υπερύθρου Μετασχηματισμού Fourier (FTIR) (Angelona et al., 2013), ώστε να διαπιστωθεί αν φέρει στοιχεία του ζωγραφικού στρώματος.

Τέλος, είναι αρκετά συχνά θεμιτό να διερευνάται εάν οι γέλες που χρησιμοποιήθηκαν άφησαν πίσω τους υπολείμματα. Η ανάλυση με φασματοσκοπία FTIR μπορεί να επιτελέσει και αυτό το σκοπό (Baglioni et al., 2012), συχνά εφαρμόζοντάς την με την τεχνική της Αποσβένουσας Ολικής Ανάκλασης (Attenuated Total Reflectance-FTIR ή ATR-FTIR) (Domingues et al., 2013a; Pizzorusso et al., 2012), ενώ χρησιμοποιείται και η μικροσκοπία FTIR δισδιάστατης απεικόνισης (Bonelli et al., 2019). Για τον ίδιο σκοπό μπορεί να εφαρμοστεί και η αέρια χρωματογραφία – φασματομετρία μάζας (Gas Chromatography-Mass Spectrometry ή GC-MS) (Cremonesi & Casoli, 2017), ενώ ορισμένες φορές πραγματοποιείται και απεικόνιση της ορατής φωταύγειας με διέγερση υπεριώδους ακτινοβολίας (UVL imaging) για να εντοπιστούν τυχόν υπολείμματα γελών (Scott, 2012).

Κλείνοντας πρέπει να επισημανθεί πως υπάρχει πλήθος επιπλέον διαθέσιμων αναλυτικών τεχνικών και μεθόδων που μπορούν να αξιοποιηθούν για τέτοιας φύσης ζητήματα. Εντούτοις, η παρούσα αναφορά περιορίστηκε στις προαναφερθείσες μεθόδους διότι αυτές είναι οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενες για την διερεύνηση της αποτελεσματικότητας της εφαρμογής γελών για τον καθαρισμό πολιτιστικών αντικειμένων.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Alawneh F., Rahman Elserogy A., Sulaiman Al Dawood R., (2018), The conservation of the Byzantine icon from Georgios Church, Jordan, *Annales d'Université "Valahia" Târgoviște. Section d'Archéologie et d'Histoire*, **20** : 53-19, Πρόσβαση την 30^η Απριλίου 2023 στο <https://www.persee.fr/doc/valah_1584-1855_2018_num_20_1_1280>.

Al-Emam E., Motawea A. G., Janssens K. and Caen J., (2019), Evaluation of polyvinyl alcohol–borax/ agarose (PVA–B/AG) blend hydrogels for removal of deteriorated consolidants from ancient Egyptian wall paintings, *Heritage Science*, **7** (22): 1-18. <<https://doi.org/10.1186/s40494-019-0264-z>>.

Angelova L. V., Berrie B. H., de Ghetaldi K., Kerr A. and Weiss R. G., (2013), Partially hydrolyzed poly(vinyl acetate)-borax-based gel-like materials for conservation of art: Characterization and applications, *Studies in Conservation*, **0** (0): 1-18, <<https://doi.org/10.1179/2047058413Y.0000000112>>.

Angelova L. V., Carretti E., Berrie B. H. and Weiss R. G., (2017), Poly(vinyl alcohol)-borax ‘gels’: a flexible cleaning option, in : *Gels in the conservation of art*, (Eds: L.V. Angelova, B. Ormsby, J. H. Townsend & R. Wolbers), Archetype Publications, London, U.K., 231-236 pp.

Angelova L. V., Terech P., Natali I., Dei L., Carretti E., Weiss R. G., (2011), Cosolvent gel-like materials from partially hydrolyzed poly(vinyl acetate)s and borax, *Langmuir*, **27**: 11671-11682. <<https://doi.org/10.1021/la202179e>>.

Βοκοτόπουλος Π., (1995), *Βυζαντινές εικόνες*, Εκδοτική Αθηνών, Αθήνα, 24 σ.

Baglioni P., Berti D., Bonini M., Carretti E., Del Carmen Casas Perez M., Chelazzi D., Dei L., Fratini E., Giorgi R., Natali I., Arroyo M. C., (2012), Gels for the conservation of cultural heritage, *MRS Online Proceedings*, 1418, pp. 1-11, Πρόσβαση την 21^η Μαΐου 2023 στο <<http://doi.org/10.1557/opl.2012.97>>.

Baglioni P., Debora B., Bonini M., Carretti E., Dei L., Fratini E. and Giorgi R., (2014), Micelle, microemulsions, and gels for the conservation of cultural heritage, *Advances in Colloid and Interface Science*, **205**: 361-371. <<https://doi.org/10.1016/j.cis.2013.09.008>>.

Baglioni P., Bonelli N., Chelazzi D., Chevalier A., Dei L., Domingues J., Fratini E., Giorgi R., Martin M., (2015a), Organogel formulations for the cleaning of easel paintings, *Appl. Phys. A*, **121**: 857-868. <<https://doi.org/10.1007/s00339-015-9364-0>>.

Baglioni P., Chelazzi D. and Giorgi R., (2015b), *Nanotechnologies in the Conservation of cultural Heritage: A compendium of materials and techniques*, Springer, London, 9, 12, 102, 108 pp. Πρόσβαση την 5^η Μαΐου 2023 στο <<https://doi.org/10.1007/978-94-017-9303-2>>.

Baij L., Hermans J., Ormsby B., Noble P., Iedema P. and Keune K., (2020), A review of solvent action on oil paint, *Heritage Science*, **8** (43): 1-23. <<https://doi.org/10.1186/s40494-020-00388-x>>.

Bakalarou A. and Theodorakopoulos C., (2013), Cleaning of water-gilded surfaces using hydro- and solvent gels, *e-conservation magazine*, **25**: 89-105.

Bonelli N., Chelazzi D., Baglioni M., Giorgi R., Baglioni P., (2016), Confined aqueous media for the cleaning of cultural heritage: Innovative gels and amphiphile-based nanofluids, in: *Nanoscience and Cultural Heritage*, (Eds: P. Dillmann, L. Bellot-Gurlet, I. Nenner), Atlantis Press, Paris, France, 283-311. <https://doi.org/10.2991/978-94-6239-198-7_10>.

Bonelli N., Poggi G., Chelazzi D., Giorgi R. and Baglioni P., (2019), Poly(vinyl alcohol)/poly(vinyl pyrrolidone) hydrogels for the cleaning of art, *Journal of Colloid and Interface Science*, **536**: 339-348. <<https://doi.org/10.1016/j.jcis.2018.10.025>>.

Bonini M., Lenz S., Giorgi R. and Baglioni P., (2007), Nanomagnetic sponges for the cleaning of works of art, *Langmuir*, **23**: 8681-8685. <<https://doi.org/10.1021/la701292d>>.

Bonini M., Lenz S., Falletta E., Ridi F., Carretti E., Fratini E., Wiedenmann A. and Baglioni P., (2008), Acrylamide-based magnetic nanosponges: A new smart nanocomposite material, *Langmuir*, **24**: 12644-12650. <<https://doi.org/10.1021/la802425k>>.

Bracco P., Lanterna G., Matteini M., Nakahara K., Sartiani O., de Cruz A., Wolbarsht M. L., Adamkiewicz E. and Colombini M. P., (2003), Er: YAG laser: an innovative tool for controlled cleaning of old paintings: testing and evaluation, *Journal of Cultural Heritage*, **4**: 202s-208s. <[https://doi.org/10.1016/S1296-2074\(02\)01232-3](https://doi.org/10.1016/S1296-2074(02)01232-3)>.

Caley T., (1990), Aspects of varnishes and the cleaning of oil paintings before 1700, *Studies in Conservation*, **35** (1): 70-72. <<https://doi.org/10.1179/sic.1990.35.s1.016>>.

Carretti E. & Dei L., (2006), Gels as cleaning agents in cultural heritage conservation, in: *Molecular Gels*, (Eds: R. G. Weiss, P. Terech), Dordrecht, Holland, Springer, 929-938. <https://doi.org/10.1007/1-4020-3689-2_28>.

Carretti E., Dei L., Macherelli A. and Weiss R. G., (2004), Rheoreversible polymeric organogels: The art of science for art conservation, *Langmuir*, **20**: 8414-8418. <<https://doi.org/10.1021/la0495175>>.

Carretti E, Dei L. and Weiss R. G., (2005), Soft matter and art conservation. Rheoreversible gels and beyond, *Soft Matter*, **1**: 17-22. <<https://doi.org/10.1039/B501033K>>.

Carretti E., Dei L., Weiss R. G. and Baglioni P., (2008), A new class of gels for the conservation of painted surfaces, *Journal of Cultural Heritage*, **9** (4): 386-393. <<https://doi.org/10.1016/j.culher.2007.10.009>>.

Carretti E., Grassi S., Cossalter M., Natali I., Caminati G., Weiss R. G., Baglioni P. and Dei L., (2009), Poly(vinyl alcohol)-borate hydro/cosolvent gels: Viscoelastic properties, solubilizing power, and application to art conservation, *Langmuir*, **25** (15): 8656-8662. <<https://doi.org/10.1021/la804306w>>.

Carretti E., Massimo B., Dei L., Berrie B. H., Angelova L. V., Baglioni P. and Richard W. G., (2010a), New frontiers in materials science for art conservation: Responsive gels and beyond, *Accounts of Chemical Research*, **43** (6): 751-760. <<https://doi.org/10.1021/ar900282h>>.

Carretti E., Matarrese C., Fratini E., Baglioni P. and Dei L., (2014), Physicochemical characterization of partially hydrolyzed poly(vinyl acetate)-borate aqueous dispersions, *Soft Matter*, **10**: 4443-4450. <<https://doi.org/10.1039/C4SM00355A>>.

Carretti E., Natali I., Matarrese C., Bracco P., Weiss R. G., Baglioni P., Salvini A. and Dei L., (2010b), A new family of high viscosity polymeric dispersions for cleaning easel paintings, *Journal of Cultural Heritage*, **11** (4): 373-380. <<https://doi.org/10.1016/j.culher.2010.04.002>>.

Cremonesi P., (2013), Rigid gels and enzyme cleaning, in: *New Insights into the Cleaning of Paintings: Proceedings from the Cleaning 2010 International Conference*, Universidad Politecnica de Valencia and Museum Conservation Institute, (Eds: M. F. Mecklenburg, A. E. Charola and R. J. Koestler), Smithsonian Contributions to Museum Conservation, Washington, DC, Smithsonian Institution, 179-183.

Cremonesi P. and Casoli A., (2017), Thermo-reversible rigid agar hydrogels: their properties and action in cleaning, in: *Gels in the conservation of art*, (Eds: L.V. Angelova, B. Ormsby, J. H. Townsend & R. Wolbers), Archetype Publications, London, U.K., 19-27.

Διονύσιος εκ Φουρνά, (1900), *Ερμηνεία της ζωγραφικής τέχνης*, πρόλογος από Α. Παπαδόπουλος-Κεραμεύς (επίμ), Εκ της τυπογραφίας της Αγιοτάτης Συνόδου, Πετρούπολη, σσ. 25-27. <<https://anemi.lib.uoc.gr/metadata/2/c/a/metadata-141-0000170.tkl>>.

de la Rie E. R., (1987), The influence of varnishes on the appearance of paintings, *Studies in Conservation*, **32** (1): 1-13. <<https://doi.org/10.2307/1506186>>.

de la Rie E. R., (1989), Old master paintings: A study of the varnish problem, *Analytical Chemistry*, **61** (21): 1228-1240. <<https://doi.org/10.1021/ac00196a003>>.

Domingues J., Bonelli N., Giorgi R. and Baglioni P., (2014), Chemical semi-IPN hydrogels for the removal of adhesives from canvas and paintings, *Appl. Phys. A*, **114**: 705-710. <<https://doi.org/10.1007/s00339-013-8150-0>>.

Domingues J., Bonelli N., Giorgi R., Fratini E. and Baglioni P., (2013a), Innovative method for the cleaning of water-sensitive artifacts: Synthesis and application of highly retentive chemical hydrogels, *International Journal of Conservation Science*, **4** (SI): 715-722. <https://www.academia.edu/22862534/Innovative_Method_for_the_Cleaning_of_Water_Sensitive_Artifacts_Synthesis_and_Application_of_Highly_Retentive_Chemical_Hydrogels>.

Domingues J., Bonelli N., Giorgi R., Fratini E., Gorel F. and Baglioni P., (2013b), Innovative hydrogels based on semi-interpenetrating p(HEMA)/PVP networks of water-sensitive cultural heritage artifacts, *Langmuir*, **29**: 2746-2755. <<https://doi.org/10.1021/la3048664>>.

Duncan T. T., Berrie B. H. and Weiss R. G., (2016), Colloidal Properties of aqueous poly(vinyl acetate)-borate dispersions with short-chain glycol ethers, *ChemPhysChem*, **17**: 2535-2544. <<https://doi.org/10.1002/cphc.201600266>>.

Duncan T. T., Berrie B. H. and Weiss R. G., (2017), A comparison between gel and swab cleaning: Physical changes to delicate surfaces, in: *Gels in the conservation of art*, (Eds: L.V. Angelova, B. Ormsby, J. H. Townsend & R. Wolbers), Archetype Publications, London, U.K., 250-256.

Elsayed Y., (2019), Conservation of a historic panel oil-painting coated with an ancient varnish layer, *Shedet*, **6** (6): 238-256. <<https://doi.org/10.21608/SHEDET.006.14>>.



Galatis P., Boyatzis S., Theodorakopoulos C., (2012), Removal of soiling from resin coatings using hydrogels, *e-Preservation Science*, **9**: 72-83. <<http://www.morana-rtd.com/e-preservation-science/TOC.html>>.

Hassan P. A., Verma G. and Ganguli R., (2012), Soft materials – Properties and Applications, in: *Functional Materials: Preparation, Processing and Applications*, (Eds: S. Benerjee, A.K. Tyagi), London, U.K., 1-59. <<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-385142-0.00001-5>>.

Khandekar N., (2000), A survey of the conservation literature relating to the development of aqueous gel cleaning on painted and varnished surfaces, *Studies in Conservation*, **45** (1): 10-20. <<https://doi.org/10.1179/sic.2000.45.s3.003>>.

Khandekar N., (2004a), Introduction, in: *Solvent Gels for the Cleaning of Works of Art: The Residue Question / Research in Conservation*, (Ed: V. Dorge), Getty Publications, Los Angeles, U.S.A, 1-4.

Khandekar N., (2004b), Gelled systems: Theory and early application, in: *Solvent Gels for the Cleaning of Works of Art : The Residue Question / Research in Conservation*, (Ed: V. Dorge), Getty Publications, Los Angeles, U.S.A, 5-11.

Khandekar N., (2004c), Research into potential problems arising from the use of aqueous cleaning systems, in: *Solvent Gels for the Cleaning of Works of Art: The Residue Question / Research in Conservation*, (Ed: V. Dorge), Getty Publications, Los Angeles, U.S.A, 12-17.

Knut N., (1999), *The restoration of paintings* (Ed: C. Westphal, Trans: J. Hayward, I. Macmillan, M. Pearce, J. Phillips, M. Scuffil, J. A. Underwood, A. Vivis), Cologne, Germany: Konemann

Λαζίδου Δ. & Δροσάκη Δ., (2008), *Εγχειρίδιο συντήρησης εικόνων*, Μουσείο Βυζαντινού Πολιτισμού, Θεσσαλονίκη

Lazidou D., Teknetzi I., Karapanagiotis I., Ritzoulis C. and Panayiotou C., (2019), Poly(vinyl alcohol)-borax films as cleaning agents for icons, *Archaeological and Anthropological Sciences*, **11**: 6259-6271. <<https://doi.org/10.1007/s12520-019-00917-1>>.

Mastrangelo R., Chelazzi D., Poggi G., Fratini E., Pensabene Buemi L., Petruzzellis M. L. and Baglioni P., (2020), Twin-chain polymer hydrogels based on poly(vinyl alcohol) as new advanced tool for the cleaning of modern and contemporary art, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **117** (13): 7011-7020. <<https://doi.org/10.1073/pnas.1911811117>>.

Mastrotheodoros G. P. and Beltsios K. (2021), Original varnish recipes in post-Byzantine painting manuals, *Heritage*, **4** (4): 3572-3582. <<https://doi.org/10.3390/heritage4040197>>.

Measday D., Walker C., Pemberton B., (2017, March), A summary of ultra-violet fluorescent materials relevant to conservation, *AICCM National Newsletter*, No 137. Πρόσβαση την 5^η Μαΐου 2023 στο <<https://aiccm.org.au/network-news/summary-ultra-violet-fluorescent-materials-relevant-conservation/>>.

Michescu A., Ilie D. C., Pavel R., Dudu V., Floroiu A., Postolache D. and Darida I., (2017), The use of agar gel for cleaning and overpaint removal from Romanian ecclesiastical tempera paintings, in: *Gels in the conservation of art*, (Eds: L.V. Angelova, B. Ormsby, J. H. Townsend & R. Wolbers), Archetype Publications, London, U.K., 132-134.

Natali I., Carretti E., Angelova L., Baglioni P., Weiss R.G. and Dei L., (2011), Structural and mechanical properties of “peelable” organoaqueous dispersions with partially hydrolyzed poly(vinyl acetate)-borate networks: Application to cleaning painted surfaces, *Langmuir*, **27**: 13226-13235. <<https://doi.org/10.1021/la203452e>>.

National Gallery of Art, (n.d.), National Gallery of Art, Washington, DC, USA. Πρόσβαση την 10^η Νοεμβρίου 2022 στο <<https://www.nga.gov/features/byzantine/icons.html>>.

Osada Y., (2001), Polymer gels: crosslink formations in: *Gels Handbook*, vol. 1, (Eds: Y. Osada, K., Kajiwara), (trans: H. Ishida), Academic Press, San Diego, pp. 13-25

Osada Y., Ping Gong J. and Tanaka Y., (2004), Polymer gels, *Journal of Macromolecular Science, Part C: Polymer Reviews*, **44** (1): 87-112. <<https://doi.org/10.1081/MC-120027935>>.

Pizzorusso G., Fratini E., Eiblmeir J., Giorgi R., Chelazzi D., Chevalier A. and Baglioni P., (2012), Physicochemical characterization of acrylamide/bisacrylamide hydrogels and their application for the conservation of easel paintings, *Langmuir*, **28** (8): 3952-3961. <<https://doi.org/10.1021/la2044619>>.

Russian Icon Collection, (n.d.), Oleg Kushnirskiy, New York. Πρόσβαση την 10^η Νοεμβρίου 2021 στο <<https://russianicon.com/orthodox-and-catholic-icons-main-differences/>>.

Riedo C., Caldera F., Poli T. and Chiantore O., (2015), Poly(vinyl alcohol)-borate hydrogels with improved features for the cleaning of cultural heritage, *Heritage Science*, **3** (23): 1-11. <<https://doi.org/10.1186/s40494-015-0053-2>>.

Sansonetti A., Bertasa M., Canevali C., Rabbolini A., Anzani M. and Scaroni D., (2020), A review in using agar gels for cleaning art surfaces, *Journal of Cultural Heritage*, **44**: 285-296. <<https://doi.org/10.1016/j.culher.2020.01.008>>.

Scott C. L., (2012), The use of agar as a solvent gel in objects conservation, *AIC Objects Specialty Group Postprints*, **19**: 71-83. <<https://resources.culturalheritage.org/osg-postprints/v19/scott/>>.

Scott C. L., Drolet E. and Blaik R., (2010), *The characterization and removal of lac dye staining on white ground ceramics*, Master thesis, University of California, Los Angeles. Πρόσβαση την 20^η Απριλίου 2023 στο <https://www.academia.edu/27508165/The_Characterisation_and_Removal_of_Lac_Dye_Staining_on_White_Ground_Ceramics>.

Stassinopoulos S., (2006), The cleaning of icons' varnish, in: ICOM-CC International, In: *ICOM-CC International Conference Icons, Research, Conservation & Ethical issues*. Benaki Museum, ICOM-Greek Group 3-7 December, Athens

Stavroudis C., (2017), Gels: evolution in practice, in: *Gels in the conservation of art*, (Eds: L.V. Angelova, B. Ormsby, J. H. Townsend & R. Wolbers), Archetype Publications, London, U.K., 209-217.

Stulik D. and Miller D., (2004), Research into solvent gel residues, in: *Solvent Gels for the Cleaning of Works of Art: The Residue Question / Research in Conservation*, (Ed: V. Dorge), Getty Publications, Los Angeles, U.S.A, 18-65

Stulik D. and Wolbers R., (2004), Project outcome, spin-offs, and future research needs, in: *Solvent Gels for the Cleaning of Works of Art: The Residue Question / Research in Conservation*, (Ed: V. Dorge), Getty Publications, Los Angeles, U.S.A, 131-144

Sun M., Zou J., Zhang H. and Zhang B., (2015), Measurement of reversible rate of conservation materials based on gel cleaning approach, *Journal Of Cultural Heritage*, **16**: 717-729. <<https://doi.org/10.1016/j.culher.2014.11.006>>.

Theodorakopoulos C. & Zafiropulos V., (2003), Uncovering of scalar oxidation within naturally aged varnish layers, *Journal of Cultural Heritage*, **4** (1): 216-222

Umney N. and Rivers S., (2003), *Conservation of furniture*, Butterworth-Heinemann, Oxford, U.K., 496 pp.

Varadinova-Papadaki S., (2017), Gels for removing varnish and surface stains from Bulgarian icons, in: *Gels in the conservation of art*, (Eds: L.V. Angelova, B. Ormsby, J. H. Townsend & R. Wolbers), Archetype Publications, London, U.K., 292-293

Vieillescazes C., Archier P. and Pistre M.S., (2005), Study of Post-Byzantine Icon Varnishes by Chromatographic and Spectroscopic Methods, *Studies in Conservation*, **50** (1): 37-44. <<https://doi.org/10.1179/sic.2005.50.1.37>>.

Williams V. S. and Doyle A., (2010), Cleaning fossil tooth surfaces for microwear analysis: use of solvent gels to remove resistant consolidant, *Paleontologia Electronica*, **13** (3): 1-12. <https://palaeo-electronica.org/2010_3/247/index.html>.

Wolbers R., (2000), Cleaning painted surfaces – Aqueous methods, Archetype Publications, London, U.K., pp. 74-75, 78.

Wolbers R., (2017), Gels, green chemistry, gurus and guides, in: *Gels in the conservation of art*, (Eds: L.V. Angelova, B. Ormsby, J. H. Townsend & R. Wolbers), Archetype Publications, London, U.K., pp. 3-8

X-rite PANTONE®, (2016), *A guide to understanding color*. Πρόσβαση την 22^α Απριλίου 2023 στο <https://www.xrite.com/-/media/xrite/files/whitepaper_pdfs/l10-001_a_guide_to_understanding_color_communication/l10-001_understand_color_en.pdf>.

Yamauchi A., (2001), Definition and classification of Gels, in: *Gels Handbook*, vol. 1, (Eds: Y. Osada, K., Kajiwara), (trans: H. Ishida), Academic Press, San Diego, pp. 4-12

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

