

Denizcilik Arkeolojisi Dergisi
Maritime Archaeology Periodical



TINA TÜRKİYE SUALTI ARKEOLOJİSİ VAKFI

KURULUŞU: 1999 yılında bir grup denizsever iş adamı tarafından kurulmuştur.

AMACI

- Türkiye ve denizlerimizdeki arkeolojik zenginlikleri dünya kamuoyu ve bilimsel kurumlara anlatmak. Bu meyanda yurtiçi ve yurtdışı yayınlar, konferanslar, paneller, seminerler, açık oturumlar, sempozyumlar, kurslar, fuarlar, şenlikler, sergiler, festivaller, toplu inceleme gezileri gibi sanatsal etkinlikler ve toplantılar düzenlemek.
- T.C. Kültür Bakanlığı izni ve denetimi altında yapılacak olan araştırma, kazı, konservasyon ve sergileme faaliyetlerinde bulunan yurt içi ve yurt dışı bilimsel kuruluşlara, müzelere, üniversitelere destek sağlamak ve sağlanmasına yardımcı olmak.
- T.C. Kültür Bakanlığı izni ve denetimi altında karasularımızda bilimsel metodlar ile günümüz teknolojik imkanları nispetinde sualtı araştırmaları ve kazıları yapmak. Sualtı arkeolojik eserlerimizi tespit etmek, mevkilerini gerekli mercilere bildirerek korunmaya alınmalarını sağlamak.
- Hali hazırda bu konuda faaliyet gösteren müze ve kuruluşlar ile işbirliği yapmak ve bunlara destek sağlamak. Bu tip müzelerin ve kültürel faaliyetlerin çoğalmasını sağlamak, yeni girişimlere fırsat verecek önlemleri almak.
- Bu meyanda denizlerimizde görülen ve hızla yayılmakta olan sualtı kirliliğini önleyici tedbirler almak, alınmasını sağlamak ve bu konuda diğer kuruluşlar ile işbirliği sağlamak.
- Vakıf amaç ve çalışma konularındaki eğitim ve öğretim kurumlarını geliştirmek ve bu amaçla öğrenciler yetiştirmek için burslar vermek.

YÖNETİM:

BAŞKAN

H. OĞUZ AYDEMİR

ÜYELER

AYHAN SİCİMOĞLU

KENAN YILMAZ

JEFF HAKKO

ENES EDİS

METİN ATAÇ

ZAFER KIZILKAYA

T.C. KÜLTÜR VE TURİZM BAKANI

TINA TURKISH UNDERWATER ARCHAEOLOGY FOUNDATION

FOUNDATION: Founded by a group of maritime-lover businessmen in 1999.

SCOPE

- To make the international society and scientists familiar with our abundant archaeological cultural heritage in Turkey and its seas. With this idea in mind, to make national and international publications, and organize conferences, panels, seminars, forums, symposiums, workshops, fairs, festivities, exhibitions, and artistic activities such as festivals, excursions and meetings.
- To support local and international scientific institutions, museums, and universities involved in activities of surveys, excavations, conservations and exhibitions under the approval and inspection of the Turkish Ministry of Culture and Tourism.
- To perform underwater surveys and excavations in our seas using scientific methods and current technological facilities under the approval and inspection of the Turkish Ministry of Culture and Tourism.
- To identify the archaeological artifacts lying underwater, reporting their whereabouts to relevant authorities for protection.
- To seek cooperation with the museums and institutions involved in the field and support their activities. To ensure enhancement of such museums and cultural activities, and take necessary steps to provide opportunities for new initiatives.
- To take necessary measures to prevent the pollution of our seas which becomes increasingly harder to fight back, ensure that such measures are taken, and cooperate with other institutions in this sense.
- To contribute to the educational and training institutions dealing with our scopes, and provide scholarships for dedicated students.

EXECUTIVE COMMITTEE:

PRESIDENT

H. OĞUZ AYDEMİR

MEMBERS

AYHAN SİCİMOĞLU

KENAN YILMAZ

JEFF HAKKO

ENES EDİS

METİN ATAÇ

ZAFER KIZILKAYA

REPUBLIC OF TURKEY MINISTER OF CULTURE AND TOURISM

TINA DENİZCİLİK ARKEOLOJİSİ DERGİSİ

TÜRKİYE SUALTİ ARKEOLOJİSİ VAKFI'NIN SÜRELİ YAYINIDIR

TINA Denizcilik Arkeolojisi Dergisi, Haziran ve Aralık aylarında yılda iki kez yayımlanır. Yayımlanması istenen makalelerin basım tarihinden en geç 2 ay önce gönderilmiş olması gerekmektedir. TINA Denizcilik Arkeolojisi Dergisi, başta Anadolu kıyıları ve Akdeniz olmak üzere dünyanın her köşesinde gerçekleştirilen denizcilik arkeolojisi alanında yapılmış çalışmalara yer vermektedir.

SAHİBİ: TINA Türkiye Sualtı Arkeolojisi Vakfı

İMTİYAZ SAHİBİ: Hüsnü Oğuz Aydemir

SORUMLU YAZI İŞLERİ MÜDÜRÜ: Mehmet Bezdan

TINA Denizcilik Arkeolojisi Dergisi'nin izni olmadan, hiçbir bölüm kopya edilemez. Alıntı yapılması durumunda referans gösterilmelidir. Yazıların yasal sorumluluğu yazarına aittir.

TINA Denizcilik Arkeolojisi Dergisi'ne gönderilen makaleler bu cildin son sayfasında belirtilen formata uygun olduğu takdirde yayımlanacaktır.

TINA Denizcilik Arkeolojisi Dergisi'nin yeni sayılarında yayımlanması istenen makaleler için mail adresi: mehmetbezdan@gmail.com

ISSN: 2149 - 0392

BASKI: Bilnet Matbaacılık ve Yayıncılık AŞ
Y. Dudullu Org. San. Sit. 1.Cadde No:16 Y.Dudullu – İstanbul.
Tel: +90 216 444 44 03



ADRES: Türkiye Sualtı Arkeolojisi Vakfı
Koç Üniversitesi, Anadolu Medeniyetleri
Araştırma Merkezi, İstiklal Caddesi No:181
34430 Beyoğlu / İstanbul
TELEFON: +90 212 393 61 30
FAX: +90 212 393 61 40
WEB: www.tinaturk.org

TINA MARITIME ARCHAEOLOGY PERIODICAL

PERIODICAL PUBLICATION OF TINA TURKISH
FOUNDATION FOR UNDERWATER ARCHAEOLOGY

TINA Maritime Archaeology Periodical is published bi-annually during the months of June and December. The papers to be published should be sent 2 months before the publication date. The coverage of TINA Maritime Archaeology Periodical includes primarily the Anatolian shores, the Mediterranean Sea, and the work performed in the field of maritime archaeology from every corner of the world.

OWNER: TINA Turkish Foundation for Underwater Archaeology

PUBLISHER: Hüsnü Oğuz Aydemir

EDITOR: Mehmet Bezdhan

No section or part of the magazine can be reproduced without any consent of TINA Maritime Archaeology Periodical. References should be cited. Legal responsibility of papers belong to the authors.

Papers sent to TINA Maritime Archaeology Periodical shall be published only if they comply with the format specified on the last page of this issue.

E-mail address to submit the papers to be published in the coming issues of TINA Maritime Archaeology Periodical: mehmetbezdan@gmail.com

ISSN: 2149 - 0392

PRINTED AT: Bilnet Matbaacılık ve Yayıncılık AŞ
Y. Dudullu Org. San. Sit. 1.Cadde No:16 Y.Dudullu – İstanbul.
Tel: +90 216 444 44 03



ADRESS: Türkiye Sualtı Arkeolojisi Vakfı
Koç Üniversitesi, Anadolu Medeniyetleri
Araştırma Merkezi, İstiklal Caddesi No:181
34430 Beyoğlu / İstanbul
PHONE: +90 212 393 61 30
FAX: +90 212 393 61 40
WEB: www.tinaturk.org



TINA

Denizcilik Arkeolojisi Dergisi

KURUCULAR:

H. Oğuz Aydemir
Kenan Yılmaz
Mehmet Bezdan

YAYIN KURULU

H. Oğuz Aydemir
Kenan Yılmaz
Jeff Hakko
Prof. Dr. Cemal Pulak (Texas A&M University)
Prof. Dr. A. Kaan Şenol (Ege Üniversitesi)

DANIŞMA KURULU:

Prof. Dr. Cemal Pulak (Texas A&M Üniversitesi)
Prof. Dr. Patrice Pomey (Aix-Marseille Üniversitesi)
Prof. Dr. A. Kaan Şenol (Ege Üniversitesi)
Prof. Dr. Fred Hocker (Vasa Müzesi, Araştırma Müdürü)
Prof. Dr. Ufuk Kocabaş (İstanbul Üniversitesi)
Prof. Dr. Nicolle Hirschfeld (Trinity Üniversitesi)
Doç. Dr. Harun Özdaş (Dokuz Eylül Üniversitesi)
Konservatör Dr. Kristiane Strætkvern (Danimarka Ulusal Müzesi)

GENEL YAYIN YÖNETMENİ:

Mehmet Bezdan

EDİTÖRLER

Mehmet Bezdan
Ufuk Kocabaş

TINA VAKFI GENEL SEKRETERİ:

Ay Sanem Yükselsoy Tekcan

FOTOĞRAF EDİTÖRÜ:

Donald A. Frey, Levent Konuk

SUALTI GÖRÜNTÜLEME AKADEMİK DANIŞMANI:

Prof. Dr. Altan Lök

ÇEVİRİ:

Cengiz Aydemir

TASARIM:

Alican Sezer

13. SAYI KAPAK FOTOĞRAFI: Skuldelev 1’de borda kaplamalarının şekillendirilerek test-montajlarının yapılması. (Makale sayfa 48’de başlıyor) Fotoğraf Roskilde’deki Viking Gemi Müzesi.

7. CİLT (SAYI 13-14) KAPAK FOTOĞRAFI: Batavia Batığının Konservasyon Öyküsü makalesinden. (Makale sayfa 88’de başlıyor). Batık alanından bir sualtı fotoğrafı.



TINA

Maritime Archaeology Periodical

FOUNDERS:

H. Oğuz Aydemir
Kenan Yılmaz
Mehmet Bezdán

EDITORIAL BOARD:

H. Oğuz Aydemir
Kenan Yılmaz
Jeff Hakko
Prof. Dr. Cemal Pulak (Texas A&M University)
Prof. Dr. A. Kaan Şenol (Ege University)

EDITORIAL ADVISORY BOARD:

Prof. Dr. Cemal Pulak (Texas A&M University)
Prof. Dr. Patrice Pomey (Aix-Marseille University)
Prof. Dr. A. Kaan Şenol (Ege University)
Prof. Dr. Fred Hocker (Director of Research, Vasa Museum)
Prof. Dr. Ufuk Kocabaş (İstanbul University)
Prof. Dr. Nicolle Hirschfeld (Trinity University)
Assoc. Prof. Dr. Harun Özdaş (Dokuz Eylül University)
Conservator Dr. Kristiane Strætkvern (National Museum of Denmark)

CHIEF EDITOR:

Mehmet Bezdán

EDITORS:

Mehmet Bezdán
Ufuk Kocabaş

GENERAL SECRETARY OF THE TINA FOUNDATION:

Ay Sanem Yükselsoy Tekcan

PHOTO EDITOR:

Donald A. Frey, Levent Konuk

ACADEMIC ADVISORY FOR UNDERWATER IMAGING:

Prof. Dr. Altan Lök

TRANSLATED BY:

Cengiz Aydemir

DESIGN:

Alican Sezer

COVER PHOTO OF THE ISSUE 13: Shaping and trial-assembly of Skuldelev 1's strakes. (Article in p.48)
Photo: Viking Ship Museum in Roskilde.

VOLUME 7 (ISSUE 13-14) COVER PHOTO: Conservation History of the Batavia (from page 88).
An underwater image of the shipwreck site.



* Oğuz Aydemir

SUNUŞ

2020 yılını deprem ve koronavirüs ile karşılan Türkiye’de duran birçok etkinliğe rağmen yayınınımızın ilk yarı itibariyle çalışmasını tamamlamış bulunuyoruz. Türkiye Sualtı Arkeolojisi Vakfı (TINA) bu süreçte görev edindiği Koç Üniversitesi’nde sualtı arkeoloji bölümünün (KUDAR Koç Üniversitesi Mustafa Vehbi Koç Deniz Arkeolojisi Araştırma Merkezi) kuruluşuna önayak olmasının yanı sıra İzmir Urla’da Ankara Üniversitesi yerleşkesinde bulunan Ankara Üniversitesi Mustafa Vehbi Koç Deniz Arkeolojisi Araştırma Merkezi’nin iki kurum tarafından müştereken kullanımı için, birkaç yıl önce hazırlamış olduğu protokoller ile, işbirliğini gerçekleştirecek antlaşma Ankara Üniversitesi senatosu onayıyla hayata geçirilmiş bulunmaktadır.

PRESENTATION

Herewith we’re completing the first half of our periodical despite the stall in our country due to the coronavirus outbreak and the earthquake disaster that we had to go through in the first days of 2020. During this period, The Turkish Underwater Archeology Foundation (TINA) led the establishment of the Underwater Archeology Department (KUDAR, Mustafa Vehbi Koç Maritime Archeology Research Center, Koç University) at Koç University. Besides, the agreement that will enable collaboration and joint use of the Mustafa Vehbi Koç Marine Archeology Research Center of Ankara University located at the Ankara University campus in Urla, İzmir based on the protocols prepared a few years ago has become effective with the approval of the Ankara University Senate.



**Kenan Yılmaz,
Oğuz Aydemir,
Prof Dr. Umran İnan**

* *TINA Türkiye Sualtı Arkeolojisi Vakfı Yönetim Kurulu Başkanı*

* *Chairman of the Board TINA Turkish Foundation for Underwater Archaeology*

Bir anlamda Vakfımız kurucu Mütevelli üyesi rahmetli Mustafa Vehbi Koç'un düşünceleri hayat bulmuş olmaktadır. Vakfımız girişimleri ile gerçekleşen bu gelişmelerde destek veren Ankara Üniversitesi Rektörü Sayın Erkan İbiş ve Koç Üniversitesi Rektörü Sayın Umran İnancı beyefendilere Vakfımız adına teşekkürlerimizi sunarız.

Bilimsel bir yayın çıkartma ve sürdürme konusunda titiz bir çalışma yürüten Vakıf yönetimimizin bir diğer iş birliğini gerçekleştirme konusunda başlattığı Akdeniz Üniversitesi / Texas A&M Üniversitesi Sualtı Arkeoloji Enstitüsü "Dünyanın En Eski Batığı Kumluca Bronz Çağ Kazısı" bu yıl Koronavirüs tehdidi nedeniyle gelecek yıla ertelenmiş bulunmaktadır. Keza Uluslararası Mustafa V. Koç Sualtı Arkeoloji Sempozyumu programı da gelecek yıl yapılmak üzere iptal edilmiştir. Vakfımızın Bodrum Belediyesi ile müşterek patronajını gerçekleştirmek suretiyle düzenlenecek "3. Turgut Reis ve XVI. Yüzyıl Akdeniz Denizcilik Tarihi Uluslararası Sempozyumu" ise Ekim ayında planlanması nedeniyle yayın esnasında akıbeti henüz netleşmemiş durumdaydı. Bu konudaki gelişmeleri en kısa sürede Vakfımızın web sayfasından duyuracağız. Arkeoloji camiası bu zor dönemi hayırlısıyla geride bırakıp faaliyetlerine devam etmesi ortak dileğimizdir.

In a sense, the vision of the late Mustafa Vehbi Koç, the founding trustee of Our Foundation, has come to life. On behalf of Our Foundation, we would like to thank Prof. Erkan İbiş, the Rector of Ankara University and Prof. Umran Inan, President of Koç University, who both supported these developments through the initiatives of our Foundation.

"The World's Oldest Shipwreck, Kumluca Bronze Age Shipwreck Excavation" to be conducted with collaboration of the Akdeniz University and the Texas A&M University Underwater Archeology Institute, another endeavour initiated by the management of Our Foundation which is also committed to a rigorous task of producing and maintaining a scientific publication has been postponed to 2021 due to the coronavirus threat. Likewise, the program for the International Mustafa V. Koç Underwater Archeology Symposium has been delayed to the next year. In the meantime, "the 3rd International Symposium of Turgut Reis (Dragut) and the XVI. Century Mediterranean Maritime History" to be organized under the co-patronage of Our Foundation and Bodrum Municipality, has been planned for October, but not clarified yet. We will announce the developments in this regard as soon as possible on the website of our Foundation. It is our common wish that the archeology community will leave this difficult period behind and resume their activities.



Kenan Yılmaz, Prof Dr. Erkan İbiş, Oğuz Aydemir



* Ufuk Kocabaş



** Mehmet Bezdán

EDİTÖR

TINA Denizcilik Arkeolojisi Dergisi'nin 2020 sayılarında tema "Batık Gemi Konservasyonu" olarak belirlendi. Tüm dünyaya zor günler yaşatan Koronavirüs küresel salgınının gölgesinde yayına hazırladığımız dergimizin bu sayısında, bilimi eve sığdıran akademisyenlerin, uzmanların ve araştırmacıların zengin içerikli makalelerine yer verdik. Sualtı arkeolojisinin gelişimine koşut ilerleyen konservasyon çalışmaları, günümüzde her bir arkeoloji kazısı için olmazsa olmaz durumdadır. Sualtı buluntularının üzerinin açılmasıyla başlayan ve gün ışığına çıkartılmalarıyla hızlanan bozulma süreci, uygun müdahaleler gerçekleştirilmediği takdirde hızlı ve geri getirilemeyecek hasarlar ile sonuçlanmaktadır. Özellikle ıslak ya da suya doymuş durumdaki organik sualtı buluntularında süreç çok daha dikkatle takip edilmelidir. Gemi ve tekne arkeolojisinin ilgi odağındaki batıkların incelenmesi ve sergilenemeleri için ise eksiksiz bir konservasyon ve rekonstrüksiyon sürecinden geçmeleri gerekir.

Büyük kütlelerden oluşan batıkların koruma süreçleri emek-yoğun çalışmaları, finansman desteği, hepsinden önemlisi bilgi birikimi, yetişmiş uzman, ekipman ve tam teşekküllü laboratuvarlarının kurulmuş olmasını gerektirir. Organik sualtı buluntularında tercih edilebilecek yöntem sayısı görece olarak fazlayken; büyük ölçekli suya doymuş ahşap parçalardan oluşan gemi batıklarında metotlar sınırlıdır ve çalışmalar 10 yıllarca sürebilmektedir. İşte bu noktadan hareketle, bu sayımızın konusunu "Batık Gemi Konservasyonu" oldu. Dünyadan örneklere yer verdiğimiz 13. sayımızda halen müzelerde sergilenmekte olan batıkların konservasyon metodolojilerindeki yöntem farklılıklarını da göz önünde bulundurarak bir seçki gerçekleştirdik.

İsveç'te ziyaretçilerini kendine hayran bırakan Vasa, 1961 yılında sualtından çıkartılışından konservasyon sürecinin tamamlanmasına kadar pek çok ilkin yaşandığı bir gemi. Her yıl milyonun üzerinde ziyaretçiyi ağırlayan batığın geçmiş dönem konservasyonlarını da

EDITOR

We have determined the theme for both of our 2020 issues to focus on "Shipwreck Conservation". While the corona outbreak challenges the entire world, our periodical publication concentrates on the content-rich articles of academicians, experts and explorers whose scientific studies were constrained to the boundaries of their homes. The conservation work which develops in parallel with the underwater archaeology has now become "indispensable" for each excavation. The degradation process begins with the uncovering of underwater finds, and accelerates by bringing these into daylight, therefore without the appropriate intervention it results in rapid and irreversible damage. The process has to be controlled much more closely particularly when wet or waterlogged organic underwater finds are in question. A flawless conservation and reconstruction work is crucial for the exhibition of shipwrecks which constitute the center of interest for ship and boat archaeology.

The conservation processes of the wrecks, consisting of large masses, require labor-intensive studies, financial support, above all, knowledge, trained specialists, equipment and fully equipped laboratories. While the number of preferred conservation methods for organic underwater finds is relatively high, this is rather limited in shipwrecks that consists mostly of large-scale waterlogged wood, and thus studies can last as much as tens of decades. Considering all the above mentioned facts, and their importance for that matter, we decided to prepare this issue of our periodical exclusively on "Shipwreck Conservation". In our 13th issue, which includes examples from the world, we made a selection by considering the differences in the conservation methodologies of the shipwrecks that are being exhibited in museums.

Vasa, which fascinates its visitors in Sweden, is a ship where many first things were experienced from the time it was removed from underwater in 1961, to

* Prof. Dr. Ufuk Kocabaş. Orcid ID: 0000-0002-8489-929X, İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Taşınabilir Kültür Varlıklarını Koruma ve Onarım Bölümü Sualtı Kültür Kalıntılarını Koruma Anabilim Dalı, Ordu Caddesi, Laleli-Fatih, İstanbul.

* Professor Ufuk Kocabaş. Orcid ID: 0000-0002-8489-929X, Istanbul University Letters Faculty Department of Conservation and Restoration of Artefacts Division of Conservation of Marine Archaeological Objects, Ordu Caddesi, Laleli-Fatih, İstanbul-TURKEY.

** Editör / Chief Editor: Mehmet Bezdán. mehmetbezdán@gmail.com

içeren makalesi, bu müzede 14 yıl çalışmış olan uzman Emma Hocker tarafından hazırlandı. Suya doymuş ahşap konservasyonunun kıdemli isimlerinden Kristiane Strætkevæn ve meslektaşı Anette Hjelm Petersen, Danimarka'daki Viking batıklarının konservasyon tarihçesine ışık tutuyor. 1962 yılında Skuldelev batıklarının konservasyonu ile başlayıp Roskilde batıklarıyla devam eden 50 yıllık bilgi birikimi, büyük ölçekli gemi kalıntıların konservasyonunda dondurarak kurutma cihazının başarıyla uygulandığı Brede Laboratuvarlarında devam ediyor. Norveç'te sürdürülen ve batık repertuarı olarak son zamanların en büyük ölçekli projelerinden biri olan Oslo Limanı batıkları, proje yöneticisi Hilde Vangstad ve Tori Falck'un kaleminden sunuluyor. Alman bilim insanlarının suya doymuş ahşap konservasyonuna kazandırdıkları melamin formaldehid (Kauramin) metodunda uzmanlaşmış yegâne isimlerden Markus Wittköpper, Oberstimm batıklarının konservasyonunu ele aldı. Roman Germanic Central Museum (RGZM) konservasyon laboratuvarlarının (Mainz) melamin formaldehid reçinesindeki 50 yıllık tecrübesi bu makale ile sunuluyor. Akdeniz sularında İsrail'de kazısı gerçekleştirilerek konservasyonu tamamlanan ve sergilenen Ma'agan Mikhael batığının koruma ve sergileme aşamaları Deborah Cvikel tarafından aktarıldı. İstanbul Üniversitesi uzmanlarından Namık Kılıç ve Gökçe Kılıç, batık konservasyonunu destekleyici birer makale ile konuyu bütünlüyorlar.

Yılın ikinci sayısında ağırlıklı olarak ülkemizden ve yine dünyadan diğer önemli batıkların konservasyon uygulamalarına yer verilecek. Küresel salgın sürecinde dijital yayımların ne kadar önemli olduğu bir kez daha ortaya çıktı. Dijital olarak yayımlanacak, ardından tek bir ciltte basılacak olan TINA Denizcilik Arkeolojisi Dergisi'nin "Batık Gemi Konservasyonu" tematik sayısının, gerek bilim çevreleri, gerekse konuya ilgi duyanlar ve özellikle de öğrenciler için önemli bir başvuru kaynağı olarak kütüphanelerdeki yerini alması dileğiyle.

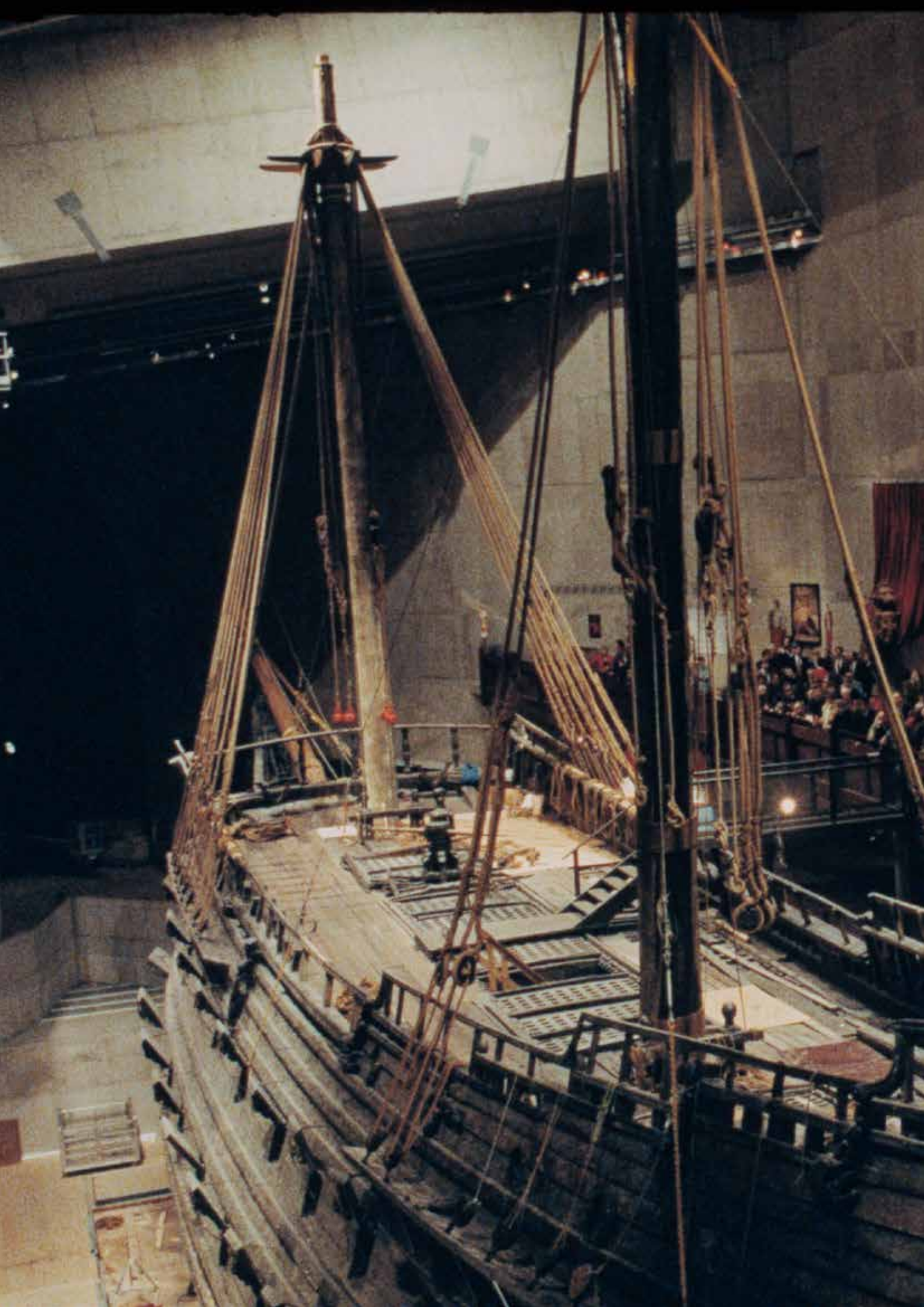
the completion of its conservation process. Covering its past conservations, the article prepared by Emma Hocker, an expert who worked 14 years in this museum, is about the Vasa shipwreck, which welcomes over a million visitors every year. Kristiane Strætkevæn and his colleague Anette Hjelm Petersen, senior names in waterlogged wood conservation, shed light on the conservation history of Viking shipwrecks in Denmark. Starting with the conservation of Skuldelev shipwrecks in 1962 and continuing with Roskilde shipwrecks, 50 years of know-how gains momentum at the Brede Laboratories where the freeze dryer was successfully applied in the conservation of large-scale ship remains. The article on one of the most recent large-scale projects in Norway, Oslo Harbor shipwrecks are available as a shipwreck repertoire from the project manager Hilde Vangstad and Tori Falck. Markus Wittköpper, one of the few experts of the method of melamine formaldehyde (Kauramin), developed by German scientists for the conservation of waterlogged wood, discussed the conservation of Oberstimm shipwrecks. The 50-year experience of the Roman Germanic Central Museum (RGZM) conservation laboratories (Mainz) on melamine formaldehyde resin is presented with this article. The preservation and display stages of the Ma'agan Mikhael shipwreck, whose excavation was completed and exhibited in the Mediterranean waters in Israel, was reported by Deborah Cvikel. Namık Kılıç and Gökçe Kılıç, experts from Istanbul University, complement the topic with articles supporting the shipwreck conservation.

The second issue of the year will comprise the conservation practices of other important shipwrecks from our country and the world. Once again, the importance of digital publications has become evident during the global epidemic process. Wishing that the thematic issue of TINA Maritime Archeology Journal, which will initially be published digitally and subsequently printed as a single volume, will take its place in libraries as an important reference source for both scientific circles and those interested in the subject and especially for students.

İÇİNDEKİLER / INDEX**MAKALELER / ARTICLES:**

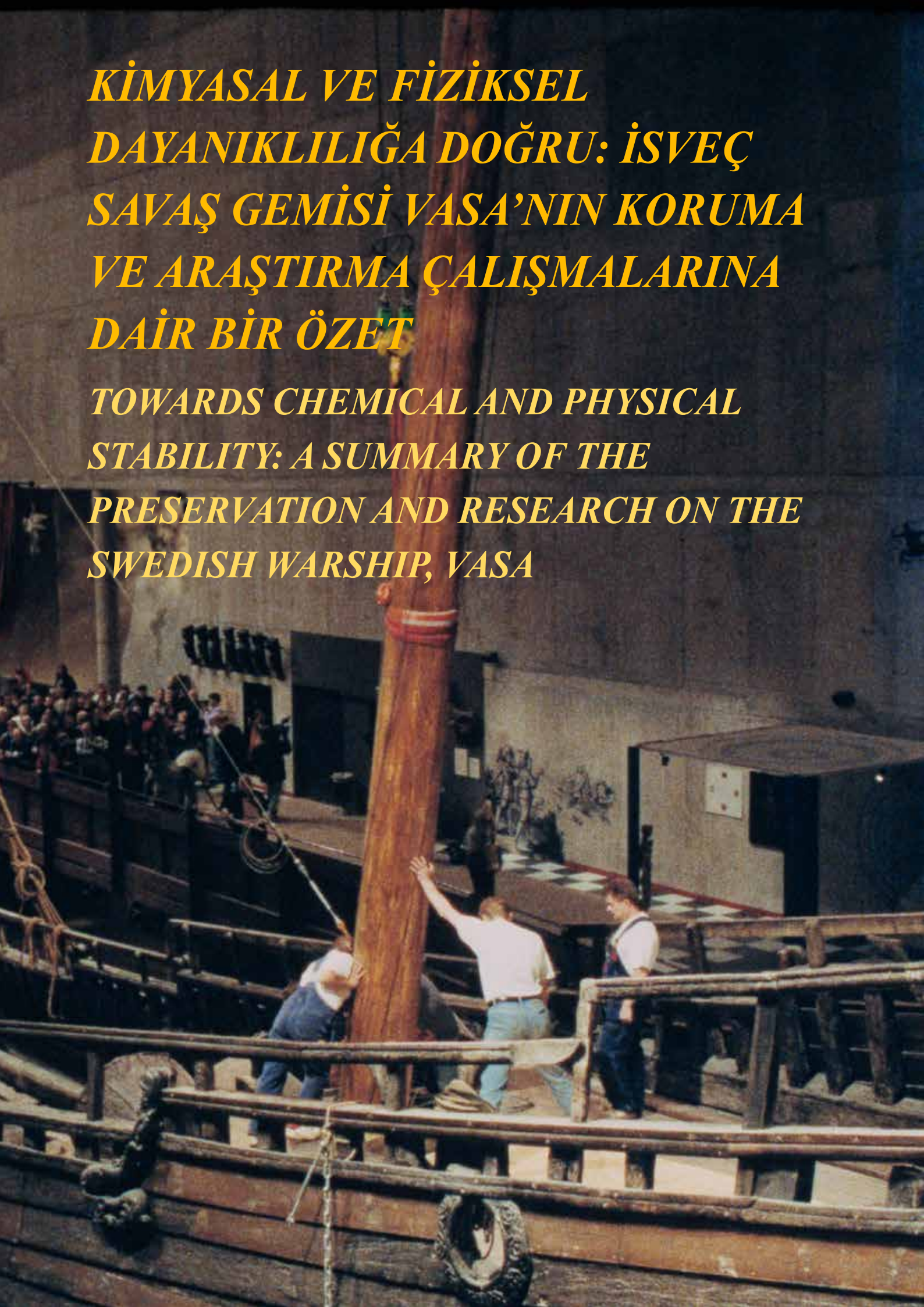
- 12 Kimyasal ve Fiziksel Dayanıklılığa Doğru: İsveç Savaş Gemisi Vasa'nın Koruma ve Araştırma Çalışmalarına Dair Bir Özet
Towards Chemical and Physical Stability: A Summary of the Preservation and Research on the Swedish Warship, Vasa
Emma Hocker
- 46 Atalarımızın Omuzlarında Yükselmek – Bir Altyapı ve Bir Bakış Açısı. Danimarka'da Suya Doymuş Arkeolojik Gemi Batıklarının Konservasyon Çalışmalarıyla Geçen Elli Yıl
Standing on the Shoulders of Our Predecessors – A Base and A Viewpoint. Fifty Years of Working with Conservation of Waterlogged Archaeological Shipwrecks in Denmark
Anette Hjelm Petersen, Kristiane Strætø
- 69 Oslo Limanı'ndaki 16. Yüzyıla Ait Gemi Batıkları. Konservasyon, Rekonstrüksiyon ve Sergileme Süreçleri Sırasında Yaşanan Güçlükler ve Yapılan Seçimler
The 16th Century Shipwrecks from Oslo Harbour. Challenges and Choices During the Process of Conservation, Reconstruction and Exhibition
Hilde Vangstad, Tori Falck, Monica Hovdan, Pål Thome
- 98 Ma'agan Mikhael Gemisinin Kazısı ve Konservasyonu
Excavation and Conservation of the Ma'agan Mikhael Ship
Deborah Cvikel

- 116 Oberstimm/Bavyera'dan Teknelerin Konservasyonu
The Conservation of the Boats from Oberstimm/Bavaria
Markus Wittköpper
- 131 Suya Doymuş Ahşap Konservasyonunda Sülfür Sorunu
Sulfur Problem in the Conservation of Waterlogged Wood
A. Gökçe Kılıç
- 145 Suya Doymuş Ahşapta Gerçekleştirilen Temel Analiz
Uygulamaları
Fundamental Analyses Performed on the Waterlogged Wood
Namık Kılıç



*KİMYASAL VE FİZİKSEL
DAYANIKLILIĞA DOĞRU: İSVEÇ
SAVAŞ GEMİSİ VASA'NIN KORUMA
VE ARAŞTIRMA ÇALIŞMALARINA
DAİR BİR ÖZET*

*TOWARDS CHEMICAL AND PHYSICAL
STABILITY: A SUMMARY OF THE
PRESERVATION AND RESEARCH ON THE
SWEDISH WARSHIP, VASA*





* Emma Hocker

Anahtar kelimeler: Vasa, suya doymuş ahşap, polietilen glikol, demir sülfatlar, mekanik test uygulama, FE modeli.

Keywords: Vasa, waterlogged wood, polyethylene glycol, iron sulfates, mechanical testing, FE model.

ÖZET

17. yüzyıl İsveç savaş gemisi *Vasa*, bilindiği üzere 1628 yılında Stockholm limanından ayrılmaya çalışırken daha ilk seferini yaparken batmıştı. Limanın dibinde geçirdiği 333 yıldan sonra 1961 yılında batığın gövdesi çıkarılarak, kazısı yapılmış, polietilen glikol (PEG) ile konservasyon işlemi uygulanmıştı. 1988 yılında gemi Stockholm'un merkezinde inşa edilen *Vasa* Müzesi'nde sergilenmeye başlamıştı. Yaklaşık on yıl sonra ahşabın yüzeyinde beklenmedik bir şekilde asidik tuz yayılması oluşmasının ardından ahşabın yapısının kimyasal ve fiziksel dayanıklılığını incelemek amacıyla bir dizi yeni araştırma girişiminde bulunulmuştu. Bu makalede söz konusu araştırmalar özetlenerek son 20 yılda batığı korumak amacıyla alınan uygulamalı ve koruyucu konservasyon önlemleri aktarılmaktadır.

17. YÜZYILDA VASA

Vasa gemisinin öyküsü, kuzeni Polonyalı Sigismund ile savaş halinde olan İsveç Kralı II. Gustav Adolf'un ikisi büyük, ikisi küçük olmak üzere dört savaş gemisi yapımı için iki Hollandalı gemi yapımcısı ile sözleşme imzaladığı 1624 yılında başlar. Büyük gemilerin birincisine İsveççe *vase* olarak adlandırılan bir buğday demetini içeren aile armasının adı verilmişti. Adı geminin üzerinde hiç görünmese de, buğday demeti sembolü geminin kıç tarafındaki heykel süslemesinde tekrar tekrar kullanılmıştır (Fig. 1). Ağırıklı olarak meşeden (*Quercus robur*) yapılan genel bir güverte ve 64 bronz topun bulunduğu iki silah güvertesinden oluşan *Vasa*, zamanında dünyanın olmasa da Kuzey Avrupa'nın en güçlü savaş gemisiydi.

ABSTRACT

The 17th-century Swedish warship, *Vasa*, famously sank on its maiden voyage in 1628, while attempting to leave Stockholm harbour. In 1961, after 333 years on the harbour bottom, the hull was raised, excavated and conserved using polyethylene glycol (PEG). In 1988, the ship was placed on display inside the purpose-built Vasa Museum in central Stockholm. After the unexpected development of acidic salt outbreaks on the surface of the wood about a decade later, a series of new research initiatives was set in motion to examine the chemical and physical stability of the wooden structure. This article summarizes this research and describes practical and preventive conservation measures undertaken over the last two decades to preserve the ship.

VASA IN THE 17TH CENTURY

The story of *Vasa* begins in 1624, when the Swedish King Gustav II Adolf, who was at war with his cousin Sigismund of Poland, signed a contract with two Dutch shipbuilders for the construction of four warships, two large and two small. The first of the large ships was named after the family coat-of-arms, which contains a sheaf of wheat, called in Swedish, *vase*. Although the name never appears on the ship, the wheatsheaf symbol is used repeatedly in the sculptural decoration at the stern (Fig.1). Built predominantly of oak (*Quercus robur*), a common and with two gun decks of 64 bronze cannon, *Vasa* was the most powerful warship in Northern Europe, if not the world, at that time.

* Emma Hocker, Kıdemli Konservatör, Gustavianum, Uppsala Üniversitesi Müzesi, Akademigatan 3, SE-753 10 Uppsala, İsveç.

* Emma Hocker, Senior Conservator, Gustavianum, Uppsala University Museum, Akademigatan 3, SE-753 10 Uppsala, Sweden.



Fig. 1: Vasa'nın günümüzdeki pupa görünümü. İki aslan İsveç'in armalı kalkanını tutuyor, merkezde "vase" buğday demeti.

Fig. 1: The stern today. The two lions hold Sweden's coat-of-arms, in the centre of which, is a vase.

Tarihi kayıtlara göre ömrü kısa sürdü. Ağustos 1628 tarihinde sakin bir günde Stockholm limanında Kraliyet Sarayı'nın açıklarında, büyük bir olasılıkla yola çıkmak üzere top atışıyla sarayı selamlarken demir aldı. Bu nedenle, lombarları açtı ve ilk seferine çıkmaya 1500 m kala ani bir rüzgâr geminin yan yatmasına neden olarak suyun iskele tarafındaki alt lombarlara girmesine sebep oldu. Gemi, birkaç dakika içerisinde, limandan ayrılmasını izlemek için toplanan kalabalığın gözü önünde, içindeki 30 yolcu ve mürettebat ile birlikte Stockholm limanının dibine battı. Takip eden aylarda ve yıllarda gemiyi kurtarmak için çeşitli girişimlerde bulunuldu. 1660'lı yıllarda toparın büyük bir çoğunluğunun çıkarılarak Avrupa'daki çeşitli iktidarlara teklif edilmiş olmasına rağmen, aslında akıbetleri tam olarak bilinmemektedir.¹ İsveç Donanması ve özel bir kurtarma şirketinin yer aldığı büyük bir projede, modern çıkarma ekipmanları kullanarak gemi gövdesinin deniz yatağından çıkarılmasını başarmak ancak Nisan 1961 yılında gerçekleşmiştir.² Yüze çıkarılan batık, yakındaki bir kuru havuza taşınarak yüzen bir şamandıra üzerine alınmıştır (Fig. 2). Takip eden beş ay içinde arkeologlardan oluşan bir ekip geminin bütün güvertelerinde tek tek kazı gerçekleştirmiş, bu çalışmalar sırasında ahşabın kurumasını engellemek için teknenin üzerine su püskürtülmüştür.

As history records, this was to be short-lived. On a calm day in August 1628, the ship left its mooring outside the Royal Palace in Stockholm harbour, probably firing a salute as it set sail. Consequently, the gun ports were open, when, about 1500 m into its maiden voyage, a sudden gust of wind caused the ship to heel over, allowing water to enter the lower gun ports on the port side. Within a few minutes, in full view of the crowds gathered to watch its departure, the ship sank to the bottom of Stockholm harbour along with about 30 passengers and crew. Over the following months and years, various attempts were made to salvage the ship, and in the 1660s, the majority of the cannon were raised and offered to various European powers, although what actually became of them is unknown.¹ It was not until April 1961 that a major project involving the Swedish Navy and a private salvage company succeeded in raising the hull from seabed, using modern lifting equipment.² Once on the surface, the ship was moved to a nearby dry-dock and placed on a floating pontoon (Fig. 2). Over the following five months, a team of archaeologists excavated the ship, deck by deck, while water was sprayed over the ship to prevent the wood from drying out.

1 Metallerinden faydalanmak için eritilmiş olma ihtimalleri güçlü olmasına rağmen Vasa'nın toparına ne olduğunun araştırılacağı bir proje hazırlanmaktadır.
2 CEDERLUND-HOCKER 2006, 217-290.

1 A project is now underway to investigate what happened to Vasa's cannon, although there is a strong possibility that they were melted down for their metal.
2 CEDERLUND-HOCKER 2006, 217-290.



Fig. 2: Vasa kuru havuza alındıktan sonra ek yüzdürme araçlarıyla takviye ediliyor.

Fig. 2: Vasa, soon after entering the dry dock, assisted by extra flotation devices.

AHŞABIN DURUMU

Her ne kadar çıkıntılı gagabaşı (cıvadrının altındaki uzun çıkma), kıçtaki galeriler ve üst güverteler kırılmış, lombar kapaklarından dağılan çok sayıda heykel ve aslan yüzü betimlemeleriyle birlikte denizin tabanında yatıyor olsa da, geminin gövdesi büyük oranda sağlamdı. Bunun nedeni, Stockholm limanının asidik koşullarının bu bileşenleri yerinde tutan demir çivi ve cıvataları paslandırmış olmasıydı.³ Su akıntılarındaki tortular nedeniyle biraz yüzey aşınması olmasına rağmen, limanın dibinde geçirdiği 333 yıl göz önüne alınırsa ahşabın kendisi nispeten iyi görünüyordu. Çevredeki suda oksijen seviyelerinin düşük olması sayesinde mikrobiyel çürüme yüzeyde 1-2 cm ile sınırlı olacak şekilde ortalama düzeydeydi; selüloz ve hemiselüloz bileşenleri bozunarak geriye zayıf bir lignin iskelet kalmıştı.⁴ Neyse ki Baltık Denizi çok soğuk olduğundan ve ılık sularda batıklara ciddi oranda zarar verebilecek olan *Teredo navalis* deniz kurdu ve diğer ağaç kemiren yumuşakçaların (*mollusca*) yaşamasına yarayacak tuzu çok az içerdiğinden, gemi daha istilacı hasarlardan kurtulmuştur.

Ahşapların ortalama nem içeriği % 150 civarındaydı (her bir 1 kg ahşap için yaklaşık 1.5 kg su); taze meşe ise her ne kadar büyük oranda değişkenlik gösterse de, % 120 civarında bir nem içeriğine sahiptir.⁵

WOOD CONDITION

The hull was largely intact, although the prominent beakhead (the long balcony under the bowsprit) and galleries and upper decks at the stern had broken off but lay in the seabed, along with many of the sculptures and lion face decorations from the gun port lids. This was because the acidic conditions of Stockholm harbour readily corroded the iron nails and bolts which held these components in place.³ The wood itself appeared to be in relatively good condition, considering the 333 years on the harbour bottom, though there was some surface abrasion due to sediments in the water currents. Thanks to the low oxygen levels in the surrounding water, microbial decay was on average limited to the surface 1-2 centimeters, degrading the cellulose and hemi-cellulose components and leaving a weak lignin skeleton.⁴ Fortunately, the ship was spared more invasive damage, since the Baltic Sea is too cold and contains too little salt for the survival of shipworm, *Teredo navalis*, and other marine wood-boring molluscs, which can severely damage shipwrecks in warmer waters.

The average moisture content was about 150% (about 1.5 kg water for every 1 kg wood substance), compared with fresh oak, which has a moisture content of about 120%, although this Figure varied greatly.⁵

3 ARRHENIUS 1967, 3.

4 Çıkarımlar konservatörlerin son gözlemlerine dayalıdır.

5 BARKMAN 1975, 65-104.

3 ARRHENIUS 1967, 3.

4 Conclusions based on conservators' later observations.

5 BARKMAN 1975, 65-104.

Gemilerde yapısal-olmayan bileşenler için kullanılan bazı çam (*Pinus* sp.) kerestelerin nem içeriği % 800 idi. 1958 yılında geminin gövdesinin kaldırma işlemine dayanıp dayanamayacağını test etmek için yapılan mekanik testler, *Vasa*'nın ahşaplarının taze meşe ile karşılaştırıldığında basınç dayanımı, kesme dayanımı ve çarpma dayanımının yaklaşık % 40'ını hâlihazırda kaybetmiş olduğunu göstermiştir.⁶ Ne yazık ki bağıl nem (RH) gibi test koşulları raporlanmamıştır; bu yüzden günümüzde benzer dayanım ölçümleriyle doğrudan karşılaştırma yapmak mümkün olmamıştır. Kurumasına izin verilen test örneklerinde birleştirici maddelerin gerekli olduğuna işaret eden ciddi büzülme ve çatlamalar gözlemlenmiştir.

KONSERVASYON VE REKONSTRÜKSİYON

Vasa çıkarıldığında suya doymuş ahşap konservasyonu alanı daha oldukça yeni bir disiplini ve uygulanan işlemlerle ilgili başvurulacak az sayıda örnek vardı. Daha önce küçük boyutlu ahşap eserlere uygulanan işlemlerde gliserin, kreozot, şap (*alum*)⁷ ve keten tohumu yağı (sonuncusu Norveç'in Oslo kentindeki Viking gemilerinin işlemlerinde kullanılmıştır⁸) gibi bir dizi malzeme kullanılmış olsa da, hiç kimse yaklaşık 800 ton gelen bu kadar büyük 7 katlı bir yapının konservasyonunu yapmaya kalkışmamıştı. İtalya'da Nemi Gölü'nde bulunan 70 metre uzunluğundaki gemiler gibi daha büyük suya doymuş batık buluntuları bilinse de, bu buluntular bilinmeyen bir reçine çözeltisiyle işlem yapılmasına rağmen elementlere maruz kalmıştır; trajik bir şekilde 2. Dünya Savaşı'nın sonunda çıkan bir yangınla tahrip olmuşlardır.⁹

Vasa'nın konservatörleri iki olası kimyasal madde üzerinde durmuştur: karboksimetil selüloz (ahşap selülozdan elde edilen ve Hollanda'da arkeologların kullandığı bir madde) ve İsveç'te yaş ahşabı dayanıklı hale getirmek için geliştirilen ve *Vasa*'nın heykellerinin bazılarında iyi sonuçlar alınan yeni bir madde.¹⁰

Some pine (*Pinus* sp.) timbers, which were used for non-structural components in the ship, had a moisture content of 800%. Mechanical tests undertaken in 1958 to determine whether the hull could withstand lifting showed that *Vasa* wood had already lost about 40% of its compressive, shear and impact strength compared with fresh oak.⁶ Unfortunately, the testing conditions, such as relative humidity (RH), are not reported, so it is hard to make direct comparisons with similar strength measurements today. Test samples which were allowed to dry out showed severe shrinkage and cracking indicating that a consolidating material was necessary.

CONSERVATION AND RECONSTRUCTION

The field of waterlogged wood conservation was still quite new when *Vasa* was raised, and there were few precedents to consult regarding treatment. Although a range of materials had been used previously to treat smaller archaeological wooden objects, such as glycerol, creosote, alum⁷ and linseed oil (the last to treat the Viking ships in Oslo, Norway⁸), no one had yet attempted to conserve such a large, intact, 7-storey structure, weighing about 800 tonnes. Although larger waterlogged ship finds were known, such as the 70-metre-long ships found in Lake Nemi in Italy, these had suffered from exposure to the elements despite treatment with an unknown resin solution; tragically they were destroyed by fire at the end of World War II.⁹

Vasa's conservators looked at two possible materials: carboxy-methylcellulose (derived from wood cellulose and used by archaeologists in the Netherlands) and a new material developed in Sweden to stabilise fresh wood, which had given good results on some of *Vasa*'s sculptures.¹⁰

6 Yayınlanmamış makale, Svenska Träforskningsinstitutet, 1958.

7 BRORSON CHRSTENSEN 1970.

8 ROSENQVIST 1959, 13-22.

9 CARLSON 2002, 31.

10 HÅFORS 2001, 47.

6 Unpublished report by Svenska Träforskningsinstitutet, 1958.

7 BRORSON CHRSTENSEN 1970.

8 ROSENQVIST 1959, 13-22..

9 CARLSON 2002, 31.

10 HÅFORS 2001, 47.

Polietilen glikol (PEG) bir dizi moleküler ağırlıkta imal edilen suda çözünebilir sentetik bir polimerdir; PEG 6000 ve 4000 gibi daha uzun zincirli moleküller oda sıcaklığında sert balmumu özelliği taşıırken, PEG 400 ve 200 gibi daha kısa uzunluktaki zincirler yumuşak ve sıvı haldedir. Moleküler ağırlığı daha yüksek olan PEG'ler moleküler ağırlığı daha düşük olanlardan daha az su tutma özelliğine (higroskopik) sahiptir ve sert balmumu halinde kuruyarak daha iyi yüzey koruması sağlarlar. Gemi hâlihazırda suyun dışına çıkarılmış olduğundan, yüzeyde çatlama izleri gözlemlendiğinden ve uzun süreli testler uygulamaya fazla zaman olmadığından, 1962 yılı baharında cesur bir şekilde gemiye bu yeni materyalle işlem uygulamaya başlama kararı alınmıştır.

Geminin yapısı çok iyi korunduğundan ahşapları tek tek söküp işlemde geçirmenin çok karmaşık ve gereksiz olduğuna karar verildi. Diğer alternatif, PEG çözeltisini yüzeyin üzerine püskürtmektir; ancak bu durumda işlemi yapmak çok daha uzun süre alacaktır. Hâlâ yüzer durumdaki şamandıra üzerinde bulunan geminin üzerine bir çatı inşa edilerek, Nisan 1962'de konservasyon çalışmalarına başlandı. Gemi başlangıçta su üzerine çıkartıldığı zamandan beri ortaya çıkan küf salgınlarıyla başa çıkmak için pentaklorofenol mantar önleyici çözeltiyle spreyleniyordu; ancak Temmuz ayı itibarıyla % 15 PEG 4000 çözeltisi ve % 6 borik asit/sodyum borat çözeltisi içeren bir mantar önleyici kimyasala dönülürken, binanın içindeki bağıl nem yaklaşık % 85'e çıkarıldı.¹¹ Püskürtme işlemi 1965 yılına kadar elle yapılmıyordu, bu tarihten sonra otomatik bir spreyleme sistemi yerleştirildi (Fig. 3). Püskürtücüler halkın gemiyi incelemesine ve gevşeyen ahşap ve heykellerin yeniden birleştirilmesine olanak sağlayacak şekilde periyodik olarak kapatıldı. Sahadan malzeme çıkarmak için dalışlara beş sezon daha devam edildi. Aslında gagabaşı ve kıçtan o kadar çok malzeme çıkarılmıştı geminin üzerine inşa edilen çatının her iki uçta da uzayan rekonstrüksiyona uymasını sağlamak için genişletilmesi gerekti.

Ne yazık ki yüksek moleküler ağırlıklı PEG 4000 otomatik sistemin püskürtme memelerini tıkadığı için Mart 1965'de çözelti PEG 1500'e (%10 çözelti) değiştirildi.¹² Konservatörler yıllar içerisinde farklı moleküler ağırlıkların uygunluğunu test etmeye devam etmiş olup, 1972 yılında testler daha küçük moleküllerin ahşaba daha derin nüfuz edebildiğini gösterdiğinden konservasyon çözeltisine PEG 600 eklenmiştir. Bu aşamada püskürtmelerin sıklığı da azaltılmış, birleşik bir havalandırma ve iklimlendirme ünitesi kurulmuş; ancak püskürtmenin tamamen bırakılması için bir yedi yıl daha geçmesi gerekmiştir.

Polyethylene glycol (PEG) is a synthetic, water-soluble, polymer that is produced in a range of molecular weights; the longer chain molecules, such as PEG 6000 and 4000 are solid waxes at room temperature, while the shorter length chains, such as PEG 400 and 200 are soft waxes and liquids. The higher molecular weight PEGs are less hygroscopic than lower molecular weights, and dry to a hard wax, thus providing better surface protection. Since the ship was already out of the water and showing signs of surface cracking, and there was little time to conduct long-term testing, in spring 1962, a brave decision was taken to start treating the ship with this new material. The ship structure was so well preserved, that dismantling and treating the timbers individually was considered too complicated and unnecessary. The alternative was to spray the PEG solution over the surface, a decision that would result in a much longer treatment time. A roof was built over the ship, which was still on its floating pontoon, and in April 1962, conservation began. The ship was initially sprayed with solution of pentachlorophenol fungicide to deal with mould outbreaks, which had developed since the raising, but by July, this was changed to a 15% solution of PEG 4000 and a fungicide of 6% boric acid/sodium borate solution, while the relative humidity inside the building was raised to ca 85%.¹¹ Spraying was initially carried out by hand until 1965, when an automatic spray system was installed (Fig.3). The sprays were turned off periodically to allow the public to view the ship and to allow loose timbers and sculptures to be reattached. Diving operations had continued for another five seasons to raise material from the site. In fact, so much material was retrieved from the beakhead and stern that the roof over the ship had to be extended at both ends to accommodate the expanding reconstruction.

Unfortunately, the high molecular weight PEG 4000 clogged the spray nozzles of the automatic system, and so in March 1965, the solution was changed to PEG 1500 (10% solution).¹² The conservators continued to test the suitability of different molecular weights over the years, and in 1972, PEG 600 was added to the conservation solution, as tests showed that the smaller molecule was able to penetrate deeper into the wood. The frequency of the sprayings was also reduced at this time, and a combined ventilation and air conditioning plant was installed, although it was to be another seven years until the spraying was discontinued entirely.

11 HÅFORS 2001, 58.

12 HÅFORS 2001, 65.

11 HÅFORS 2001, 58.

12 HÅFORS 2001, 65.



Fig. 3: 1965 yılında otomatik püskürtme sistemi monte edilmeden önce gemiye elle püskürtme uygulanıyor.

Fig. 3: Hand-spraying the ship before an automatic spray system was installed in 1965.

PEG kullanımını geç anlayıp, daha fazla deneyim kazanarak artık öncelikle daha düşük moleküler ağırlıklar kullanmanın daha iyi olduğunu biliyoruz. Yapılan araştırmalar bunların hücre duvarlarına girerek hücre duvarının çekmesini azalttığını ve içten destek sağlayan hidrojen bağlanması yoluyla hücre duvarlarıyla bağ kurabildiklerini göstermiştir. Bu nedenle yapısal destek sağlamak ve hücre çöküşünü önlemek amacıyla ahşabın, ağırlıklı olarak hücre lümeninin içindeki boşlukları doldurmak amacıyla daha sonra yüksek moleküler ağırlıklı PEG'ler uygulanır.¹³ Ayrıca, Avrupa meşesi (*Quercus robur* ve *Q. petrea*) konservasyonu özellikle güç olan bir ağaç türüdür. Bu ağaç türünü ideal bir gemi yapım ahşabı yapan özellikleri, yani yoğun yapısı, çürümeye karşı mükemmel dayanıklılığı ve doğal tiloz¹⁴ oluşumuyla damarları bloke etmesi suyun, dolayısıyla konservasyon sıvılarının ahşabın içine taşınmasını engellemektedir.

With hindsight and with more experience using PEG, we now know it is better to use the lower molecular weights first. Research has shown that they enter the cell walls, reducing cell wall shrinkage, and can bond with the cell walls by means of hydrogen bonding, which provides internal support. The higher molecular weight PEGs are therefore better applied later to bulk out the voids within the wood, mainly the cell lumen, to provide structural support and to prevent cellular collapse.¹³ Furthermore, European oak (*Quercus robur* and *Q. petrea*) is a particularly difficult wood species to conserve. The very features that make it an ideal shipbuilding timber - its dense structure, excellent rot-resistance and the blocking of vessels by the natural formation of tyloses¹⁴ - hinder the transport of water, and consequently conservation fluids, into the wood.

13 HOFFMANN 1984, 95–116

14 Tiloz, susuzluk veya enfeksiyon sırasında bazı ahşap türlerinin damarlarında oluşan membran kabarcıklardır.

13 HOFFMANN 1984, 95–116

14 Tyloses are membrane bubbles, which form in the vessels of certain wood species during drought or infection.

İşlemin ne zaman sonlandırılması gerektiği konusunda yapılan birçok tartışma sonrasında Ocak 1979 tarihinde püskürtme işlemine son verilmiştir. Ahşaptaki ortalama nem içeriği yaklaşık % 12'lik istenen hedefe ulaşmış ve ahşapların daha fazla PEG emmediği gözlemlenmiştir. Ölçüm istasyonları (pim çiftleri ve daha sonra dijital kumpaslar) sonraki dokuz yıllık kademeli doğal kurutma döneminde çekmeyi izlemek amacıyla geminin gövdesine monte edilmiştir. Bu sırada bağıl nem % 95 civarından % 60 civarına düşmüş, yüzey katmanına elle PEG 4000 (yaklaşık % 45 konsantrasyonda) püskürtülmüş, sonrasında sıcak hava üfleyicilerle yüzeyde erimesi sağlanmıştır.¹⁵ Yirmi civarında uygulama sonrasında ahşapta kalın mum kaplı bir tabaka oluşmuş; yüzey özellikleri, boya kalıntıları ve alet izleri örtülmüş, ancak sert bir koruyucu perdah elde edilmiştir. Bu sırada, *Vasa*'nın konservasyonun yapıldığı yerden çok uzak olmayan eski bir kuru havuz alanında yeni bir müze inşa edilmekteydi. Aralık 1988 tarihinde hâlâ yüzen şamandıra üzerinde tutulan gemi açık güneybatı duvarından doğru hafif manevralarla buraya taşınmıştır; bu taşınma sıklıkla *Vasa*'nın tek başarılı yolculuğu olarak adlandırılmaktadır (Fig. 4).

After much debate about when to finish treatment, in January 1979, the spraying was stopped. The average moisture content in the wood had reached the desired goal of ca 12% and the wood appeared installed over the hull to monitor shrinkage during the subsequent nine-year period of gradual air-drying. During this time, the relative humidity was reduced from ca 95% RH to 60%, and a surface layer of PEG 4000 (ca 45% concentration) was sprayed by hand and then melted into the surface using hot air blowers.¹⁵ After as many as 20 applications, this built up as a thick waxy layer, obscuring surface features, paint remains and tool marks, but providing a tough protective finish. Meanwhile a new museum was being constructed in an old dry-dock not far from *Vasa*'s conservation facility. In December 1988, the ship, still on its floating pontoon, was gently manoeuvred through the open southwest wall, in what is often described as *Vasa*'s only successful voyage (Fig. 4). The pontoon was incorporated into the basement of the building and converted to provide climatized store-rooms for the majority of *Vasa*'s finds. The full weight of the ship is still carried by the concrete pontoon structure, which rests directly on bedrock. The structural integrity of the concrete has been investigated and is currently no cause for concern, but monitoring continues.



Fig. 4: Aralık 1988'de konservasyonu yapılan gemi yeni müzeye taşınıyor.

Fig. 4: The conserved ship is moved into the new museum in December 1988.

¹⁵ HÅFORS 2001, 76-83.

¹⁵ HÅFORS 2001, 76-83.



Fig. 5: Kasım 1993'de geminin az sayıdaki yeni bileşenlerinden biri olan mizana direğinin montajı.

Fig. 5: Installing the mizzen mast in November 1993, one of the few new components in the ship.

Şamandıra binanın bodrumuna dâhil edilerek *Vasa*'daki buluntuların büyük bir çoğunluğu için klimalı depo alanları olarak kullanılacak şekle dönüştürülmüştür. Geminin tam ağırlığını halen doğrudan ana kayaya dayalı durumdaki betondan yapılmış bir şamandıra yapısı taşımaktadır. Betonun yapısal bütünlüğü araştırılmış olup, şu anda endişe uyandıracak herhangi bir bulgu olmamasına rağmen izlenmeye devam edilmektedir.

Reskonstrüksiyon çalışmasının son aşamasını direklerin montajı oluşturmuştur (Fig. 5). Ön ve ana direkler orijinal, mizana direği ise replikadır. 25 m'lik uzunluğuyla kurtarma çalışmalarının önünü kestiğinden ön direk aslında 1956 yılında batık alanından çıkarılan ilk malzemedir. Ana direk ise 29 m uzunluğundadır, ancak güvertede kopmuş durumda bulunmuştur. Ortası kare şeklinde, 11 parça kaplama ahşaptan yapılmıştır. Bu ahşaplara konservasyon uygulanmıştır; ancak direkler gemiye takılırken yeni bir taşıyıcı çekirdeğe bağlanmıştır. Alt direkler ise daha sonra donatılmıştır. Halatlar yeni olmasına rağmen, donanımın çoğu, makara ve boğatılar orijinaldir.

Özet olarak, *Vasa*'nın gövdesine neredeyse 17 yıl boyunca (1962-1979 arası) püskürtme yapılmış, ardından on yıl süreyle kontrollü kurumaya bırakılmıştır. Bu süre içerisinde gemiye 240 tonun üzerinde PEG (4000, 1500 ve 600 moleküler ağırlıklarda) ve neredeyse 15 ton bor tuzu püskürtülmüş olup, başlangıçtaki mikrobiyolojik çürümenin derecesi çok değişken olmasına rağmen, aslında *Vasa*'nın ahşaplarının PEG'in tam olarak ne kadarını emdiğini belirlemek kolay değildir.¹⁶ *Vasa*'daki PEG kullanımı örneğini, yapının tamamına püskürtme uygulama (örn., *Mary Rose*, Portsmouth, UK¹⁷) veya Akdeniz'deki batıkların çoğunda yapıldığı gibi batık elemanlarını demonte edip, tank içerisinde işleme sokarak, başka batıklar takip etmiştir.

The final stage of reconstruction involved installing the masts (Fig. 5). The fore and main masts are original, while the mizzen mast is a replica. The fore mast was in fact the first item lifted from the wreck site in 1956, because at 25 m long, it was in the way of the rest of the salvage efforts. The main mast is about 29 m long, but had broken off at the deck. It was made of 11 pieces of wood, a square core with facing pieces. These were conserved, but secured to a new core when the masts were replaced in the ship. The lower masts were then rigged. Although new rope was made, much of the hardware, blocks and deadeyes are original material.

In summary, *Vasa*'s hull was sprayed for almost 17 years (1962 to 1979), followed by another decade of slow drying. During that time, over 240 tons of PEG (of molecular weights 4000, 1500 and 600) and almost 15 tonnes of boron salts were sprayed on the ship, although since the initial degree of microbiological decay was so varied, it is hard to determine exactly how much PEG has actually been absorbed by *Vasa*'s wood.¹⁶ Other shipwreck projects followed *Vasa*'s example in the use of PEG, either through spraying the whole structure (e.g. *Mary Rose*, Portsmouth, UK¹⁷) or by dismantling and treating timbers in a tank, which is common for most shipwrecks in the Mediterranean.

16 HÅFORS 2001, 68.

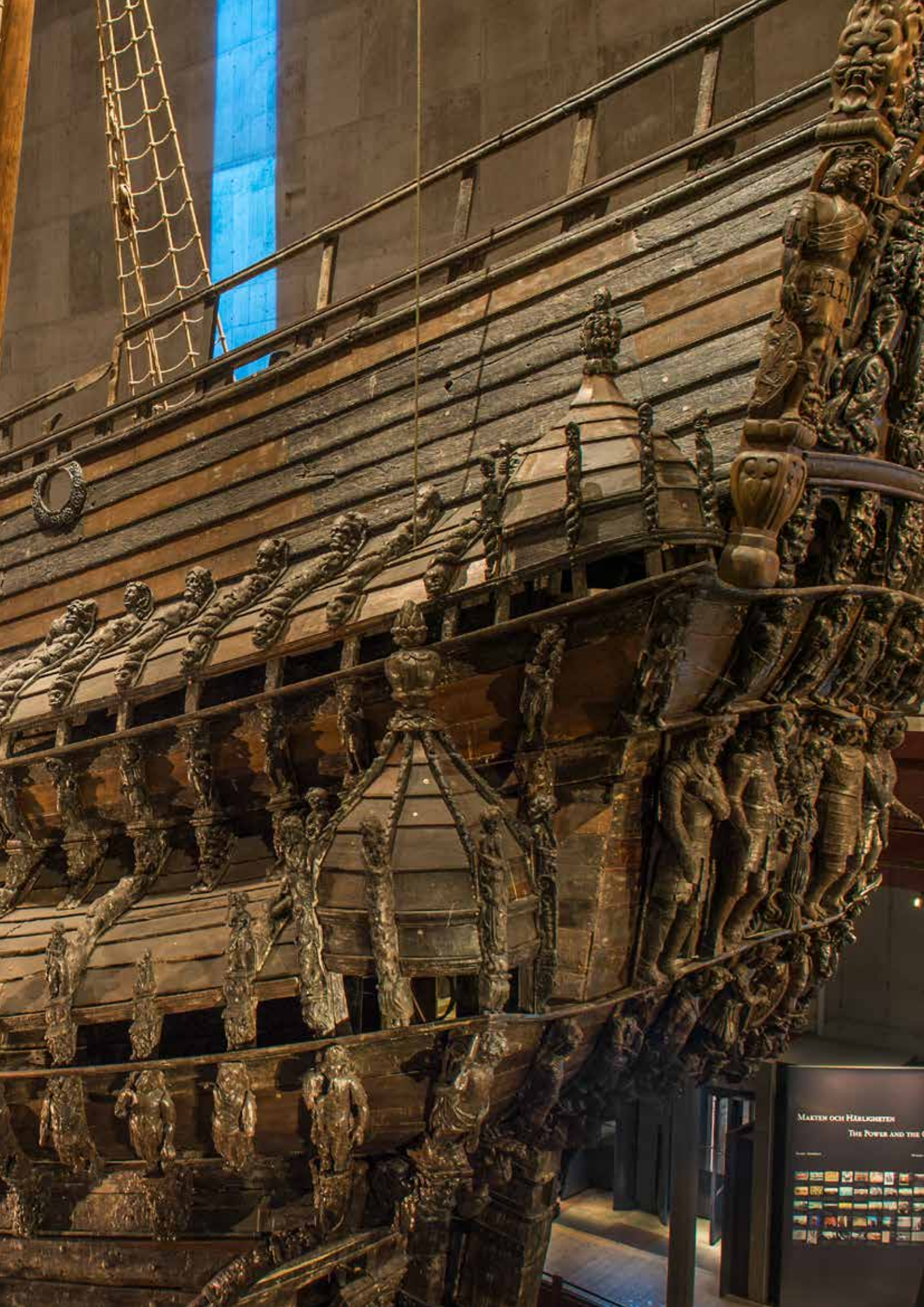
17 JONES 2003.

16 HÅFORS 2001, 68.

17 JONES 2003.

Fig. 6: Gemi müzede sergileniyor.
Fig. 6: The ship on display in the museum.





MAKTEN OCH HÄRLIGHETEN
THE POWER AND THE GLORY



BEKLENMEYEN DURUM

Batık müzede sergilenmeye başlandığında konservasyon aşamasının tamamlandığı ve tek yapılması gerekenin geminin etrafındaki sıcaklık ve bağıl nemin izlenmesi ve tozdan korunması olduğu düşünülmüştü (Fig. 6). Vasa Müzesi açıldıktan yaklaşık on yıl sonra, 2000 yılı civarında geminin yüzeyinde ve ahşap objelerin üzerinde çok sayıda beyaz ve sarı kristalin çökeltiler fark edildiğinde biraz şok yaşandı (Fig. 7). Bu sızıntıların çoğu pH 3'ün altında endişe verici derecede asidikti; hatta bazı örneklerde ahşabın yüzeyi tuz kristalize olduğundan dolayı bozulmuştu (Fig. 8). Asidik koşulların ahşap elemanları zayıflatabileceği veya parçalayabileceği, bunun da ahşabın iç mukavemetini büyük ölçüde azaltabileceği endişesi uyandı. Bu keşifler 2003 yılında Vasa'nın ahşaplarının kimyasal, sonrasında mekanik özelliklerini incelemek amacıyla birkaç İsveç finansman kuruluşunun sağladığı araştırma fonları yoluyla desteklediği bir dizi büyük ölçekli araştırma projesini beraberinde getirdi. Bu yazıda söz konusu çalışmalarda elde edilen bulgular özetlenmektedir.



Fig. 7: Gemide bulunan bir kaptaki yayılan tuzun etkisi görülüyor.

Fig. 7: Example of a salt outbreak on a wooden vessel found inside the ship.

THE UNEXPECTED

Once the ship was on display in the museum, it had been assumed that the conservation phase was complete and that the only actions required were to monitor the temperature and RH around the ship and to keep it free of dust (Fig 6). It was somewhat of a shock, when around the year 2000, about a decade after the Vasa Museum opened, a large number of white and yellow crystalline precipitations were noticed on the surface of the ship and on wooden objects (Fig. 7). Many of these outbreaks were alarmingly acidic, below pH 3, and in some cases, the wood surface had been disrupted as the salts crystallized (Fig. 8). There was concern that the acidic conditions could weaken or break down the wood components, drastically reducing the wood's internal strength. These discoveries led to a series of major research projects beginning in 2003 to examine the chemical and later the mechanical properties of Vasa's wood, financed through research grants from a number of Swedish funding agencies. The results of these studies are summarized here.



Fig. 8: Çam ağacından borda kaplama asitli ortama bir örnek oluşturuyor; pH indikatör kağıdında 1 ile 2 arasında pH görülüyor.
Fig. 8: An example of the acidic conditions on this pine plank; the pH indicator paper reads a pH of between 1 and 2.

KİMYASAL ÇALIŞMALAR

Başlangıçta araştırmalar tuz sızıntılarının bileşiminin saptanması ve bunların nedeninin anlaşılması üzerinde odaklanılmıştı. X-ışınları difraksiyonu (XRD) yoluyla tuzların bir dizi hidratlı demir sülfat, ağırlıklı olarak sarı natrojarosit ($\text{NaFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$) ve beyaz melanteritin ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) yanı sıra jips (alçı taşı) ve elementel sülfür olduğu saptanmıştır.¹⁸ Demirin varlığı su altında paslanmış, çevresindeki ahşabı korozyona maruz bırakan çok sayıda orijinal cıvata ve diğer demir eserle açıklanmıştır. Bu arada, sülfürün Stockholm limanının sularındaki sülfat indirgeyici bakterilerin etkisinden kaynaklandığı anlaşılmıştır.¹⁹ Bu bulgu, geminin üst kısmındaki tuz yayılma envanteriyle teyit edilerek, dipteki çamur seviyesinde herhangi bir sızma olmadığı ortaya kondu.²⁰ X-ışını Absorbsiyon Spektroskopisi (XANES), Taramalı X-ışını Spektro Mikroskopisi (SXM), X-ışını Floresans Spektrometresi (XRF), ESCA, SEM ve XRD gibi birtakım analizler kullanılarak, ahşabın yaklaşık 2 cm derinlikteki yüzey bölgesinde, ağırlıklı olarak suyun altında mikrobiyel bozunmanın gerçekleştiği bölgelerde yüksek düzeyde sülfür konsantrasyonları olduğu gösterilmiştir. Azalan sülfürün tiyoller şeklinde odun özüne bağlı görüldüğü, ancak aynı zamanda demir sülfür parçacıkları olarak da var olduğu gözlemlenmiştir.²¹ Önemli bir konu da yüzey bölgelerde bulunmasına rağmen, demirin ahşapta daha derinlerde de bulunmuş olmasıdır. Geriye kalan selüloz ve hemi-selülozun bozunmasının demir içeriği yüksek, ancak sülfür oranı düşük bölgelerde kötü olduğu anlaşılmaktadır.²² Bu keşif ilk önce düşünülen çok daha karmaşık bir tabloyu ortaya çıkarmıştır. Ayrıca, suya doymuş, işlem görmemiş *Vasa* ahşabı örnekleriyle yapılan karşılaştırmalar selüloz bozunmasının gemi çıkarılıp yeniden havaya maruz bırakıldığında meydana geldiğini göstermiştir.²³ Öte yandan, demirin yanı sıra yüksek düzeyde sülfür içeren örneklerde daha az bozunma gözlemlenmiştir. Bunun bir açıklaması kükürt bileşiklerindeki azalmanın çürükçül ya da anti-oksidan olarak etki göstererek bazı kuvvetli oksidasyon süreçlerini engellemiş olmasıdır.²⁴

CHEMICAL STUDIES

Initially, research focused on identifying the composition of the salt outbreaks and establishing their cause. Through X-ray powder diffraction (XRD) it was determined that the salts were a series of hydrated iron sulfates, mainly yellow natrojarosite ($\text{NaFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$) and white melanterite ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), as well as gypsum and elemental sulfur.¹⁸ The presence of iron was explained by the large numbers of original bolts, and other iron objects, which had rusted away under water, leaving the surrounding wood impregnated with corrosion products. Meanwhile, the sulfur appeared to have come from the activity of sulfate-reducing bacteria in the waters of Stockholm harbour.¹⁹ This was confirmed by an inventory of the salt outbreaks over the ship, which indicated that no outbreaks occurred below the level of the bottom mud.²⁰ Using a range of analyses, such as X-ray Absorption Near Edge Spectroscopy (XANES), Scanning X-ray Microscopy (SXM), X-ray Fluorescence (XRF), ESCA, SEM and XRD, it was shown that high levels of sulfur were concentrated in the surface region of the wood, ca 2 cm deep, primarily in areas where microbial degradation had taken place under water. The reduced sulfur appeared to be bound to lignin in the form of thiols, but was also present as iron sulfide particles.²¹

Significantly, iron, although present in the surface region, was also found much deeper in the wood. It seems that degradation of the remaining cellulose and hemicellulose was worse in areas of high iron content but low sulfur.²² This discovery presented a much more complicated picture than was first suggested. Furthermore, comparison with waterlogged, untreated samples of *Vasa* wood suggested that cellulose degradation had occurred since the ship was raised and exposed to air again.²³ On the other hand, samples containing high levels of sulfur in addition to iron showed less degradation. One explanation is that the reduced sulfur compounds act as scavengers or anti-oxidants, inhibiting certain strong oxidation processes.²⁴

18 SANDSTRÖM vd. 2002, 893-897.

19 FORS 2008.

20 HOCKER vd. 2009, 460-80.

21 FORS-SANDSTRÖM 2006, 1-17.

22 ALMKVIST 2008.

23 LINDFORS vd. 2008, 57-63.

24 ALMKVIST-PERSSON 2008B, 701

18 SANDSTRÖM *et al.* 2002, 893-897.

19 FORS 2008.

20 HOCKER *et al.* 2009, 460-80.

21 FORS-SANDSTRÖM 2006, 1-17.

22 ALMKVIST 2008.

23 LINDFORS *et al.* 2008, 57-63.

24 ALMKVIST-PERSSON 2008B, 701

Ahşabın derinliklerindeki durumu incelemek amacıyla yapılan ayrıntılı çalışmalarda asetik, formik, glikolik, özellikle oksalik asit (selüloz hidrolizi başlatabilecek olan güçlü bir pKa 1.3 asidi) gibi büyük miktarlarda organik asit tespit edildi. Bu asitlerin seviyesindeki artışların her ne kadar mikroorganizma kökenli olabileceği tam anlamıyla elenemese de, demir bileşiklerin varlığıyla ilişkili olduğu görülmektedir.²⁵ Mikrobiyologlar anlatılan bozunmanın gemi batmadan önce yerleşmiş olabilecek olan kahverengi çürüklük mantarının neden olduğu bozulmalara son derece benzer olduğuna, ancak aynı zamanda püskürtme ve kurutma dönemleri sırasında da gelişmiş olabileceğine dikkat çekmiştir.²⁶ Nedeni ne olursa olsun bu asitlerin hidrolizleme, buna bağlı olarak aslında kendi ağırlığını kendisi taşıyan *Vasa* büyüklüğündeki bir yapıda ciddi sonuçlar doğurabilecek şekilde ahşap bileşenleri zayıflatma olasılığı vardır.

Demirin rolünü incelemek için bir dizi maket deneyi yapılmıştır.²⁷ Taze meşe örnekleri demir bileşiklerle emdirilip daha sonra çeşitli oksijen konsantrasyonları, bağıl nem ve sıcaklıklara maruz bırakılmıştır. Örneklere daha sonra mekanik testler ve kimyasal analiz uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar demirle temas edildiğinde selülozdaki bozunmanın başlangıçta oldukça hızlı olduğunu, ancak zaman içinde hızının azaldığını ortaya koymuştur. Ne yazık ki birbiriyle çakışan çok sayıda reaksiyon gerçekleştiğinden maketlerle elde edilen bu bulguları *Vasa* ahşaplarına uyarlamak zordur. Bozunmanın büyük oranda demir bileşikleri nedeniyle gerçekleşmiş olması mümkün ise de, ahşabın derinliklerinde yüksek düzeyde organik asit bulunması selülozun asit hidroliz yoluyla daha fazla bozunmasına neden olma riski taşımaktadır.

Further studies to examine conditions deeper in the wood have detected large quantities of organic acids, including acetic, formic, glycolic, and in particular, oxalic acid (a strong acid of pKa 1.3, that can initiate hydrolysis of cellulose). The increased levels of these acids seem to correlate to the presence of iron compounds, although a microorganism origin cannot be totally ruled out.²⁵ Microbiologists have pointed out that the described degradation is remarkably similar to that caused by brown rot, which could have taken hold before the ship sank but also could have developed during the spraying and drying periods.²⁶ Regardless of the cause, these acids have the potential to hydrolyse and thus weaken the wood components, which could have serious consequences in a structure the size of *Vasa*, which essentially bears its own weight.

A series of model experiments was undertaken to examine the role of iron.²⁷ Samples of fresh oak were impregnated with iron compounds, and then exposed to various oxygen concentrations, relative humidities and temperatures. The samples then underwent mechanical testing and chemical analysis. The results suggested that upon contact with iron, cellulose degradation is initially quite rapid, but decelerates over time. Unfortunately, it is hard to translate these model results to *Vasa* wood, since there are so many competing reactions taking place. Although it is possible that the major degradation due to iron compounds may have already taken place, the presence of high levels of organic acids deeper in the wood risk causing further degradation of the cellulose through acid hydrolysis.

25 HOTCHKISS 2008, 108-127.

26 Thomas Nilsson, personal communication.

27 NORBAKSH 2013, 707-14.

25 HOTCHKISS 2008, 108-127.

26 Thomas Nilsson, personal communication.

27 NORBAKSH 2013, 707-14.

OKSİJEN TÜKETİMİ

Arkeolojik ahşaplardaki kimyasal reaksiyonların çoğu dolaylı ya da dolaysız olarak oksijen tüketeceğinden oksijen tüketim ölçümlerinin ahşabın içindeki bozunma oranlarını anlamaya yardımcı olabileceği öne sürülmüştür. Danimarka Ulusal Müzesi'ndeki araştırmacıların yaptığı toprak kimyası çalışmalarından oksijen tüketimini ölçecek bir yöntem uyarlanmıştır. *Vasa* ahşabı, yaş ağaç ve diğer referans materyal örnekleri bilinen hacimlerde parlak bir boydan oluşan optik bir sensör ile birlikte saydam ve hava geçirmeyen kaplara (cam flakonlar veya Escal® torbalar) yerleştirilmiştir. Ölçümler kabın dışına özel bir kontrol çubuğu yerleştirilerek aralıklı olarak yapılmıştır. Kontrol çubuğu, kabın içindeki boya sensörünün tespit ettiği özel bir dalga boyunda ışık yayar. Boya sensörü ise dış bir kontrol çubuğuyla ölçülen başka bir dalga boyundan oluşan enerji yayar. Enerji değerlerindeki fark oksijen konsantrasyonuna karşı gelir. Üç ay sonra elde edilen bulgular demir emdirilen örneklerin (II) kontrol örneklerden daha fazla oksijen tükettiğini göstermiştir, bu durum demirin (III) oksijen tüketilen süreçlerde bir katalizör olduğunu ortaya koymaktadır.²⁸ Yapılan deneylerde arkeolojik ahşabın oda sıcaklığında ve % 50 bağıl nemde günde gram başına 1 mikrogram civarında oksijen tükettiği hesaplanmıştır; ancak bunun doğal yaşlanma süreçleriyle nasıl bir ilişkide olduğu saptanamamıştır. Bu yöntem tüketilen toplam oksijeni ölçmektedir; ancak çeşitli oksijen tüketici süreçler arasında ayırım yapmak olası değildir; bu nedenle belli bir bozunma oranı açısından yorum yapmak güçtür.

OXYGEN CONSUMPTION

As most chemical reactions in archaeological wood consume oxygen, either directly or indirectly, it was suggested that oxygen consumption measurements might help to understand the rates of degradation inside the wood. A method to measure oxygen consumption was adopted from soil chemistry studies by researchers at the National Museum of Denmark. Samples of *Vasa* wood, fresh wood and other reference material were placed in transparent air-tight containers (glass vials or Escal® bags) of known volume, together with an optical sensor composed of a luminescent dye. Measurements were taken at intervals by placing a special probe on the outside of the container. The probe emits light of a specific wavelength, which is detected by the dye sensor inside the container. The dye sensor emits energy of another wavelength, which is measured by the external probe. The difference in energy readings corresponds to the concentration of oxygen. Results obtained after three months indicated that samples impregnated with iron (II) consumed more oxygen than the control samples, suggesting that iron (II) is a catalyst for oxygen-consuming processes.²⁸ From the experiments, it was calculated that archaeological wood consumes ca 1 microgram of oxygen per gram of wood per day at room temperature and 50% RH, but how this relates to natural ageing processes has not been determined. The method measures the total oxygen consumed, but it is not possible to distinguish between the various oxygen-consuming processes, and is therefore difficult to interpret in terms of a specific degradation rate.

28 MATTHIESEN-MORTENSEN 2010, 123-35.

28 MATTHIESEN-MORTENSEN 2010, 123-35.

PEG'İN DAYANIKLILIĞI

Sorgulanan bir diğer özellik de PEG'in dayanıklılığıydı. Yapılan çalışmalar PEG'in yüksek sıcaklıklarda bozunabildiğini, daha kısa polimer zincirlerine parçalanarak ahşabın yapı olarak daha hisrooskopik olmasına neden olurken, polimerin reaktif uç gruplarının formik asit oluşturabildiğini göstermiştir.²⁹ Yüksek sıcaklıklarda tanklar içinde işlem gören küçük ahşap buluntular dışında, geminin sadece yüzeydeki PEG tabakası yüksek sıcaklıklara maruz kalmıştır. Öte yandan, PEG'in yüksek demir içeriğinin varlığında ahşabın içinde nasıl reaksiyon gösterdiği bilinmemektedir. İki bağımsız çalışma yapılmıştır. Batıkta kullanılan PEG örneklerinin yanı sıra bir model molekülün (tetraetilen glikol) kullanıldığı ilk çalışmada formik asidin olası bir yavaş bozunma ürünü olduğu halde, *Vasa*'da kullanılan PEG'in yarı ömrünün bozunmanın ihmal edilebilir olduğunu düşündürmeye yetecek kadar uzun (binlerce yıl) olduğu saptanmıştır.³⁰ Matriks ile desteklenmiş lazer desorpsiyon/iyonizasyon uçuş zamanı kütle spektrometresi (MALDI-TOF MS) analizi kullanılan ikinci çalışmada ahşabın içindeki PEG'in büyük bir olasılıkla asit hidrolizi yoluyla bozunmakta olduğu sonucuna varılmıştır.³¹ Buna karşın, her iki çalışma grubu da ahşabın dış bölgelerinde – olması gerektiği yerde – dayanıklı olduğunun görüldüğü konusunda hemfikirler. Diğer koruma sorunlarının ışığında PEG bozunmasının mevcut müze koşulları altında düşük öncelikli olduğu sonucuna varılmıştır. *Vasa*'da kullanıldığından bu yana PEG başka birçok batığın konservasyonunda tercih edilen materyal olmuştur. Ancak, son yıllarda özellikle kendi ağırlığını taşımak zorunda olan büyük ölçekli suya doymuş ahşap yapılara işlem yapılırken uygunluğu sorgulanmaya başlamıştır. Bu durum kısmen daha sonra ele alınacak olan *Vasa* ahşabının mekanik özellikleri konusunda yapılan araştırmalar göz önüne alındığında ortaya çıkmıştır.

STABILITY OF PEG

Another aspect questioned was the stability of the PEG. Studies have shown that PEG can degrade under elevated temperatures, breaking down into shorter polymer chains, causing the wood to become more hygroscopic in nature, while the reactive end groups of the polymer can form formic acid.²⁹ With the exception of the small wooden finds, which had been treated in tanks at elevated temperature, on the ship, only the surface PEG layer had been exposed to elevated temperatures. On the other hand, it was unknown how PEG reacts inside the wood in the presence of high iron content. Two independent studies were undertaken. The first study, using samples of PEG used on the ship as well as a model molecule (tetraethylene glycol), found that although formic acid is a possible product of slow degradation, the half-life of *Vasa*'s PEG was sufficiently long (thousands of years) for its deterioration to be considered negligible.³⁰ The second study, using matrix-assisted laser desorption/ionization-time of flight (MALDI-TOF) analysis, concluded that the PEG in the interior wood was degrading probably through acid hydrolysis.³¹ Both groups agreed, however, that since the PEG in the exterior regions of wood – where it is intended to be – appears to be stable. In light of other preservation issues, it was concluded that PEG degradation is of low priority under the current museum conditions. Since its use on *Vasa*, PEG has been the material of choice to conserve many other shipwrecks. However, in recent years, its suitability has been questioned, especially when treating large waterlogged wooden structures, which must bear their own weight. This is partly in light of research on the mechanical properties of *Vasa* wood, and will be discussed later.

29 GLASTRUP 1996, 217-222.

30 MORTENSEN 2009.

31 ALMKVIST-PERSSON 2008A, 64-70.

29 GLASTRUP 1996, 217-222.

30 MORTENSEN 2009.

31 ALMKVIST-PERSSON 2008A, 64-70.

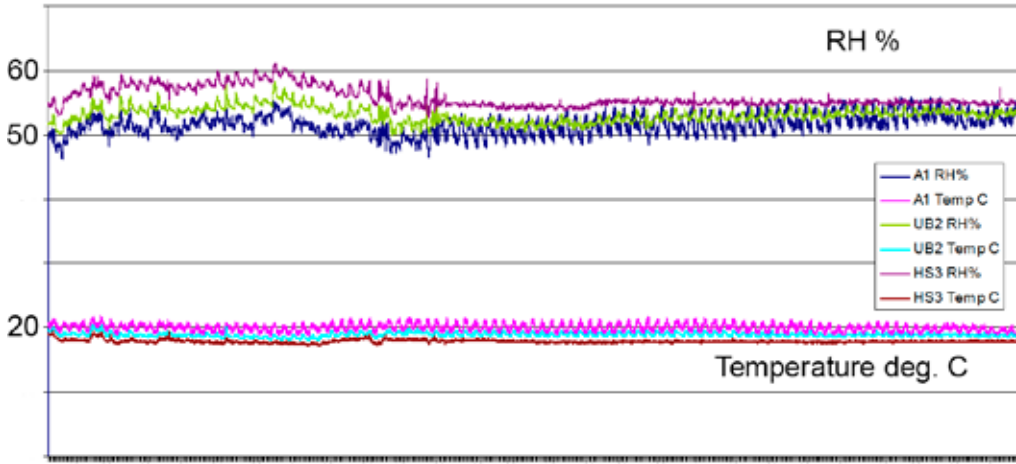


Fig. 11: Yeni iklimlendirme sisteminin montajından sonraki sıcaklık ve bağıl nem değerleri.

Fig. 11: Temperature and relative humidity readings after trimming in the new climate-control system.

YENİ BİR İKLİMLEME SİSTEMİ

Tuz yayılmasındaki gelişmeyi etkileyen ana etkenlerden biri müzedeki bağıl nemin dalgalanmasından kaynaklanıyordu; bu dalgalanma nemin ve çözünabilir tuzların yer değiştirerek ahşabın yüzeyine yerleşmesine neden oluyordu. Yılda tahmini olarak 600,000 ziyaretçiye göre hesaplanmış olan orijinal iklim kontrol sisteminin güncel ziyaretçi sayısını kaldırabilecek kapasiteye sahip olmadığı uzun süreden beri biliniyordu. Müzenin özellikle uluslararası ziyaretçiler arasındaki popülerliği, ziyaretçi sayısının 2002 yılından beri asla yılda 720,000'in altına düşmediği, aksine tutarlı bir şekilde artarak 2019 yılında 1.5 milyon ziyaretçi sayısına ulaştığı anlamına geliyordu. İklimlendirme sistemi sık sık zorlanıyordu, bunun sonucunda özellikle ziyaretçi rakamları nemli hava dönemleriyle çakıştığında geminin çevresindeki bağıl nem oranında aşırı dalgalanmalar oluşuyordu. 2004 yılında iklimlendirme sistemi pahalı ve daha güçlü bir sistemle yenilenmiş, 17-20°C sıcaklık ve % 51-55 bağıl nemle günümüzde gemi çevresinde yıllık bazda hissedilir şekilde dengeli ve bir miktar daha kuru bir iklim oluşturulmuştur (Fig. 9-11). Bu, ahşapta % 7-10 oranında bir nem miktarına karşılık gelmektedir.³² İklimin stabilize edilmesinin hemen olumlu sonuçları olmuştur. Yeni tuz yayılmalarına rastlanmamış ve mevcut yayılmalar dengelenirken, gövde yapısındaki mevsimsel hareketler ve deformasyonlar en alt düzeye indirgenmiştir. Diğer yandan ahşaplarda yeni çatlakların oluşmaya ve borda kaplamaları gibi unsurların arasındaki aralıkların genişlemeye başladığı görülmektedir.

A NEW CLIMATE-CONTROL SYSTEM

One of the major factors affecting the development of the salt outbreaks was the fluctuating relative humidity (RH) inside the museum, which was causing migration of moisture and soluble salts to the wood surface. It had been known for a while that the original climate control system, which had been dimensioned for estimated visitor numbers of 600,000 per year, did not have the capacity to handle the actual number of visitors. The museum's popularity, especially with international visitors, meant that numbers have never dropped below 720,000 annually and since 2002 have steadily increased, reaching more than 1.5 million in 2019. The system was often over-stressed, resulting in extreme RH fluctuations around the ship, especially when large visitor numbers coincided with periods of wet weather. In 2004, the air conditioning system underwent a costly upgrade, and today produces a remarkably stable and slightly drier annual climate around the ship of 17-20°C and 51-55% RH (Fig. 9-11). This corresponds to a moisture content in the wood of 7-10%.³² Stabilising the climate has had immediate positive consequences. No new salt outbreaks have been detected and the existing outbreaks have stabilised, while seasonal movements and deformations in the hull structure have also been minimized. On the other hand, it appears that new drying cracks have developed in the timbers and gaps between elements such as deck planks have widened.

³² HOCKER 2010, 5-7.

³² HOCKER 2010, 5-7.



Fig. 9: 2004 yılında yenilenen sistemin bir parçası olarak eklenen iklimlendirme çıkışları geminin kıç bölgesinde görülüyor.
Fig. 9: Extra climate-control outlets at the stern of the ship, added as part of the 2004 upgrade.



Fig. 10: Geminin içine monte edilen gelişmiş iklimlendirme çıkışları.
Fig. 10: Improved climate control outlets inside the ship.

PRATİK KONSERVASYON ÖNLEMLERİ

Gemi çevresinde bağıl nem ve sıcaklığın kontrol edilebilmesi için bir iklimlendirme sistemi tesisinin kullanılmasından öte, *Vasa*'nın boyutları ve bir müze içerisine yerleştirilmesi gövdeye uygulanabilecek işlemleri sınırlamaktadır. Asitlerin gazla (amonyak gibi) nötrleştirilmesi önerilmiştir; ancak deneyler gazların bakteriyel olarak bozunmuş olan ahşapta yalnızca birkaç milimetreye kadar nüfuz edebileceği ve ahşabın içerisindeki organik asitlere erişebilmesinin pek olası olmadığı gösterilmiştir.³³ Aynı zamanda bir kez uygulanacak bir işlemdir ve işlemten sonra yeni asit oluşumunun önlenmesi için eserlerin dengeli bir bağıl nem ortamında depolanması gerekmektedir. Bu da *Vasa* için uygun bir işlem sayılmamaktadır. Sonuçta bozunum reaksiyonlarının durdurulabilmesini sağlamak için geminin oldukça büyük bir akvaryumda bir soy gaz içerisinde sergilenmesi gerekli olabilir, ancak bu ziyaretçi deneyimini azaltarak sergileme alanında da büyük değişiklikler yapılmasını gerektirebilir.

Karşılaştırma yapılırsa *Vasa* ile birlikte bulunan küçük objelere işlem uygulanması için daha fazla seçenek mevcuttur. *Vasa* üzerindeki çalışmalarla, demir ve sülfürün ayrıştırılabilmesi için DTPA (dietilen triamin pentaasetik asit) olarak tanımlanan şelat oluşturunun kullanıldığı bir yöntem geliştirilmiştir.³⁴ DTPA, en iyi pH 9-11 değerlerinde işlevlerini ortaya koymakla birlikte, pH arkeolojik ahşapta kullanılmak üzere kimyasal etkinliğinden biraz taviz vererek, daha nötr değerlere ayarlanabilir. Süreç kimyasalın ahşap içerisine nüfuz etmesine bağlı olduğundan demir içeriği, ahşabın geçirgenliği, kalınlık ve türler gibi etkenlere bağlı olarak işlem yıllar alabilir. *Vasa* ahşabının sadece dış bölgelerindeki (1-2 cm) demirin erişilerek çıkarılabilmesi olasılığı da vardır. *Vasa*'daki küçük buluntulardan bir bölümüne bu yöntem kullanılarak işlem uygulanmıştır (Fig. 12); sonra PEG 2000 ile emdirme ve dondurarak kurutmayla başarıyla yeniden konservasyon uygulanmıştır. Ancak işlem çok zaman almaktadır ve eseri iklimlendirilmiş bir depoda bırakma seçeneği ile karşılaştırıldığında buluntunun yüzeylerinde tahribat riski içermektedir. Bazı eserlere hassas yüzeyleri olması nedeniyle suyla müdahale etmek risklidir ve *Vasa*'nın heykellerinden bir çoğunda metal bazlı pigment kalıntıları bulunmaktadır; şelat oluşturun bu pigmentleri yok eder. Ancak yeni kazılan buluntularda, özellikle demir seviyeleri 1 mg/g'den büyükse demirin çıkarılması önerilmektedir.³⁵

PRACTICAL CONSERVATION MEASURES

Beyond the use of an air conditioning plant to control the RH and temperature around the ship,

Vasa's size and placement in a museum limits the potential treatments available for the hull. Neutralisation of acids by gas (such as ammonia) has been suggested, but experiments have shown that the gas can only penetrate a few millimetres into the bacterially degraded regions of the wood, and would be unlikely to reach the organic acids located much deeper in the wood interior.³³ It is also a one-time treatment and the objects must be stored in a stable relative humidity to prevent new acid from forming post-treatment. It is not being considered as a viable treatment for *Vasa*. Ultimately, it may be necessary to exhibit the ship in a large aquarium under an inert gas to halt degradation reactions, but this would detract from the visitor experience and require major changes to the exhibit space.

In comparison, more options are available for treating the smaller objects found with *Vasa*. A method using the chelating agent, DTPA (diethylenetriamine pentaacetate) to remove iron and sulfur has been developed through the work on *Vasa*.³⁴ Although DTPA functions best at pH 9-11, the pH can be adjusted to more neutral levels for use on archaeological wood, at a slight reduction in chemical efficiency. Since the process relies on diffusion of the chemical into the wood, treatment may take several years, depending on factors, such as iron content, wood permeability, thickness and species. It is also likely that only the iron in the exterior regions (1-2 cm) of *Vasa* wood can be accessed and extracted. A number of *Vasa*'s smaller objects have been treated using this method (Fig. 12), and then successfully re-conserved by impregnation with PEG 2000 and freeze-drying, but the treatment is time-consuming and risks disruption to object surfaces compared with leaving the object in climatized storage. Some objects have surfaces too fragile to risk exposure to aqueous treatments, and many of *Vasa*'s sculptures have remains of metal-based pigments, which would be removed by the chelating agents. For newly excavated material, however, iron extraction is recommended, especially if iron levels are greater than 1 mg/g.³⁵

33 FORS-RICHARDS 2010, 41-54.

34 ALMKVIST 2008, 63-68.

35 HOCKER vd. 2012, 180.

33 FORS-RICHARDS 2010, 41-54.

34 ALMKVIST 2008, 63-68.

35 HOCKER et al. 2012, 180.



Fig. 12: Kimyasal yöntemlerle ahşap buluntuların demirden arıtılması.

Fig. 12: Chemical extraction of iron from wooden objects.

MEKANİK ÇALIŞMALAR

İlk başlarda yapılan kimyasal araştırmalardan bağımsız olarak, 2004 yılında, Kraliyet Teknoloji Enstitüsü'nden (*Royal Institute of Technology*) bir ekipten geminin destek sisteminin iyileştirilmesine hazırlık olması için *Vasa*'nın imalatında kullanılan meşe ağacının mekanik özelliklerinin incelenmesi talep edilmiştir. İki araştırma programının yakın işbirliği yapmasını sağlayan sonuçlara göre müzenin iklimlendirme koşullarında (18°C sıcaklık ve % 53 bağıl nemde) *Vasa* ahşabının radyal (daireysel) ve eksensel yönünde sertlik, sıkıştırma ve çekme mukavemeti parametreleri % 50'ye varan oranda azalmıştır.³⁶ *Vasa*'dan alınan meşe örnekleri radyal yönde sıkıştırıldıktan sonra mikroskopla incelendiğinde, ağacın ilk büyüme halkalarında 'mikro-bükülme' şeklinde bir deformasyonun olduğu gözlemlenmiştir. Daha sonra yapılan çalışmalarda radyal yapıların ayrılma eğilimi olduğunu gösteren bu bulgular teyit edilmiş. Bu da *Vasa*'nın meşesinin kırılgan yapısına katkıda bulunmaktadır.³⁷ Hepsinin ötesinde gerilme direncindeki azalma ile holoselülozun ortalama molekül ağırlığındaki azalma, aynı zamanda oksalik asit ve demir seviyelerinde artışın var olması arasında ilişki var gibi görünmektedir.³⁸

MECHANICAL STUDIES

Independently of the early chemistry research, in 2004, a team from the Royal Institute of Technology was asked to examine the mechanical properties of *Vasa* oak in preparation for improving the ship's support. The results, which eventually led to greater collaboration between the two research programs, indicated that under museum conditions (ca 18°C and 53% RH), the parameters of stiffness, compression and tensile strength were decreased by as much as 50% in the both the radial and axial directions of *Vasa*'s wood.³⁶ Microscopy showed that when samples of *Vasa* oak were compressed in the radial direction, deformation occurred in the rays of the early growth wood, described as 'micro-buckling'. Later studies have confirmed these findings, showing that the ray structures tend to separate, contributing to the brittle nature of *Vasa*'s oak.³⁷ Moreover, there appears to be correlation between the reduction in tensile strength and the decrease in average molecular weight of the holocellulose, as well as the presence of elevated levels of oxalic acid and iron.³⁸

36 LJUNGDAL-BERGLUND 2007, 279-284.

37 VOROBYEV vd. 2016, 457-465.

38 BJURHAGER vd. 2012, 2521-2527.

36 LJUNGDAL-BERGLUND 2007, 279-284.

37 VOROBYEV *et al.* 2016, 457-465.

38 BJURHAGER *et al.* 2012, 2521-2527.

İncelenen diğer mekanik parametreler sünme ve kaymadır. Sünme etkileri zaman içerisinde değişim gösterdiğinden zamana dayalı bir özelliktir. Üç belirgin evreye ayrılabilir; birincil, ikincil ve üçüncül sünme. Birinci evredeki değişimler oldukça hızlı bir şekilde gerçekleşir, ancak ikinci evrede daha doğrusal olma eğilimi vardır, üçüncü evrede sünmede hızlı bir artış görülür, bu genellikle malzemenin tamamen yıkımına yol açar. 2005 yılından beri müzede geminin tam ölçüde üç borda kaplaması üzerinde sünme testleri uygulanmıştır. İki ucundan desteklenmiş olan borda kaplaması üzerine ağırlıklar yerleştirilerek yatay eksen üzerinde kaplamanın merkezinde oluşan şekil değişikliği ölçülmüştür. Deneylerin amacı üçüncü evreye varmadan önce, sünme henüz doğrusal olarak maksimum gerilme seviyesinin belirlenmesidir. Borda kaplamalarının henüz ikinci seviyede olduğu deneylere devam edilmektedir.

Ön bulgulara göre radyal sıkıştırmada *Vasa*'nın meşelerinde oluşan genel sünme oranı yeni meşeye göre en az 10 kez daha büyüktür. Bu oldukça yüksek bir rakamdır ve malzeme yaşlandıkça bunun sünmeye ve sonuç olarak yıkıma yol açacağı endişesi vardır. Laboratuvar koşullarında yapılan daha küçük ölçekli testler de aynı genel eğilimlere işaret etmektedir; ancak müze sıcaklığı ve bağıl nemdeki küçük değişikliklerin bile ahşap numunelerin sünme üzerinde teğetsel ve dairesel yönlerde daha önce düşünülenenden daha büyük bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir.³⁹

Gemi üzerindeki birçok ahşap kayma olarak bilinen farklı yönlerde iş gören güçlere maruz kalmıştır. Kayma dayanımının ölçümü zordur, ancak 25 x 25 mm'lik daha küçük kesitleri almak için tek bir küp aparatındaki tutamakları değiştirerek, kayma modülü için değerler elde etmek mümkün olmuştur.⁴⁰ *Vasa*'nın yapımında kullanılmış olan ahşapların iki belirgin farklı bölgeye sahip olması testleri karmaşıktır. Bu bölgelerden birincisi dış yüzeydir; burada selüloz daha çok bozunmaya uğramıştır ve büyük miktarlarda PEG birikmiştir. İkincisi ise iç bölgedir; burada daha az selüloz bozunması ve daha az PEG vardır, ancak bu kez daha yüksek miktarlarda demir içerir ve doğası gereği daha gevrekler. Tüm mekanik çalışmalar PEG'nin bir kaydırıcı görevi görerek ahşap lifçiklerinin birbirinin üzerine binmesine neden olduğunu göstermiştir.⁴¹

Other mechanical parameters that have been examined include creep and shear. Creep is a time-dependent property, as the effects change over time. It can be separated into three distinct stages; primary, secondary and tertiary creep. Changes in deformation are quite rapid during the primary stage, but tend to become more linear during the secondary stage, while the tertiary phase describes a sudden increase in creep, usually leading to complete failure of the material. Since 2005, three full-scale planks from the ship have been subjected to creep testing inside the museum. Weights have been placed on the plank, which is supported at both ends, and the deformation of the center of the plank from horizontal is measured. The goal of the experiments is to determine the maximum stress level where creep is still linear before the tertiary stage is reached. The experiments are continuing, with the planks still in the secondary stage. Preliminary results suggest that the overall creep rate of *Vasa* oak in radial compression is at least 10 times greater than that of recent oak. This is quite a high Figure and there is concern that this could lead to accelerating creep and eventual failure as the material ages. Smaller scale tests in laboratory conditions have shown the same general trends, but have indicated that even minor variations in museum temperature and RH have a greater influence on creep in the tangential and radial directions of the wood samples than was previously thought.³⁹ Many timbers on the ship are subjected to forces operating in opposite directions, known as shear. Shear strength is complicated to measure, but by modifying the grips on a single cube apparatus to take smaller cross-sections of 25 x 25 mm, it has been possible to get values for shear modulus.⁴⁰ The tests have been complicated by the fact that *Vasa*'s wood has two distinct regions; the outer surface region, in which the cellulose component is more degraded, and where large amounts of PEG are concentrated, and the inner region, which has less cellulose degradation and less PEG, but contains high quantities of iron and is more brittle in nature. All the mechanical studies showed that PEG tends to act as a lubricant allowing the wood fibrils to slide over one another.⁴¹

39 VOROBYEV vd. 2019, 35-52.

40 VOROBYEV 2017, 28.

41 VOROBYEV vd. 2017, 327-35.

39 VOROBYEV et al. 2019, 35-52.

40 VOROBYEV 2017, 28.

41 VOROBYEV et al. 2017, 327-35.

Bu bulgu konservasyon topluluklarında bir tartışmayı alevlendirerek kendi ağırlıklarını taşımak zorunda olan büyük boyutlu suya doymuş ahşap yapıların konservasyonu için uygunluğunun sorgulanmasına neden olmuştur ve bu tür nesnelere içsel güç sağlayabilecek yeni güçlendirme maddelerinin keşfedilmesi veya geliştirilmesi konusuna yeniden ilgi duyulmuştur.

GÖVDENİN SAĞLAMLAŞTIRILMASI

Mekanik testlerin sonuçları gövde için geliştirilmiş bir destek kızına gereksinim olduğunu ortaya koymuştur. Gemi şu anda I-kesitli kirişlerle bağlanmış 18 çift kolondan oluşan çelik bir beşik üzerine oturmaktadır. Kızakla gövde arasındaki boşluklar tahta takozlarla doldurulmuştur; yine de ağırlığın büyük bölümü omurga bloklarının üzerinde durmaktadır. Yıllar boyunca desteklere eşit bir dağılımın sağlanması için takozların ayarlanması gerekmektedir; ancak kolonlar geminin ağırlık dağılımına karşılık gelmediğinden, nokta yüklemesi yapılarak bölgesel şekil bozukluğuna yol açılmıştır. 2000 yılından beri, jeodezik ölçüm sistemi kullanılarak gövdedeki mevsimsel hareketler ve deformasyon izlenmiştir. Yılda iki kez, geminin iç ve dış kısmındaki 400 yansıtıcı *total station* (lazer teodolit) kullanılarak kaydedilir ve zamana göre deformasyonu gösteren karmaşık bir nokta matrisi oluşturur.

Başlangıçta elde edilen sonuçlar geminin yılda yaklaşık 1 mm batarak, kademeli olarak özellikle gövdenin şekli nedeniyle ağır kık yapısının yüklerinin yoğunlaştığı pupa bölgesinde omurgasını parçaladığını gösteriyordu. Bu durum 1990'larda ilave kızak kolonları eklenmesine rağmen meydana gelmiştir. Ölçümler aynı zamanda hem genel hem de lokal bozunmalar olduğunu göstermektedir. Kık zaten yapımı sırasında iskele tarafına doğru bir bükülme verilerek yapılmıştır; ancak son yıllarda bu bükülmeye artış olduğu görülmektedir. Bu kısmen geminin yan bölümlerinin farklı oturmasından kaynaklanmaktadır, bunun sonucu olarak temel direkler de kademeli olarak iskele yanına doğru dayanmaktadır. Gemi yanlarının üst bölümleri de içeri doğru hareket etmektedir; ancak bu hareket sancak tarafında iskele tarafına göre daha büyüktür ve kık doğru en belirgin halini almıştır. Karına dönüşünde genişlemenin daha da büyük olduğu görülmektedir. Olumlu bir not düşmek gerekirse, alınan ölçümler 2004 yılında yeni iklimlendirme sisteminin monte edilmesinden beri iklimdeki dalgalanmalar nedeniyle mevsimsel hareketlenmelerin oluşmasının büyük oranda azaldığını teyit etmektedir.

This has fuelled the debate within the conservation community about its suitability in the conservation of large waterlogged wooden structures, which must support their own weight, and there is renewed interest in finding or developing new consolidating materials, which can provide internal strength to such objects.

STABILISING THE HULL

The results of the mechanical tests have highlighted the need for an improved support cradle for the hull. The ship currently sits on a steel cradle consisting of 18 pairs of stanchions connected by large I-beams, with wooden wedges filling the gap between the cradle and the hull although much of the weight rests on the keel blocks. For many years, it was necessary to adjust the wedges to provide even support, but as the stanchions do not correspond with the load distribution in the ship, this has resulted in point-loading and localised deformation. Since the year 2000, the deformation and seasonal movements in the hull have been monitored using a geodetic measurement system. Twice a year, 400 reflective targets on the interior and exterior of the ship are recorded using a total station (laser theodolite), creating a complex matrix of points, which can be compared over time to show deformation.

Initially, the results showed that the ship was sinking about 1 mm per year, gradually crushing its keel especially at the after end, which due to the shape of the hull is where the loads from the heavy stern structure are concentrated. This has taken place despite the addition of extra cradle stanchions in the 1990s. The measurements also show both global and local distortions. The stern was already built with a slight twist to port but in recent years, it appears that this twist is increasing. This is partially due to differential settling of the ship's sides, which in turn is causing the masts to lean gradually to port. The upper parts of the ship's sides are also moving inwards, but this movement is greater on the starboard side than the port and is most evident towards the stern. It also appears that there is greater bulging at the turn of the bilge. On a positive note, the readings confirm that since the installation of the new climate-control system in 2004, the seasonal movements due to climate fluctuations have been greatly reduced.

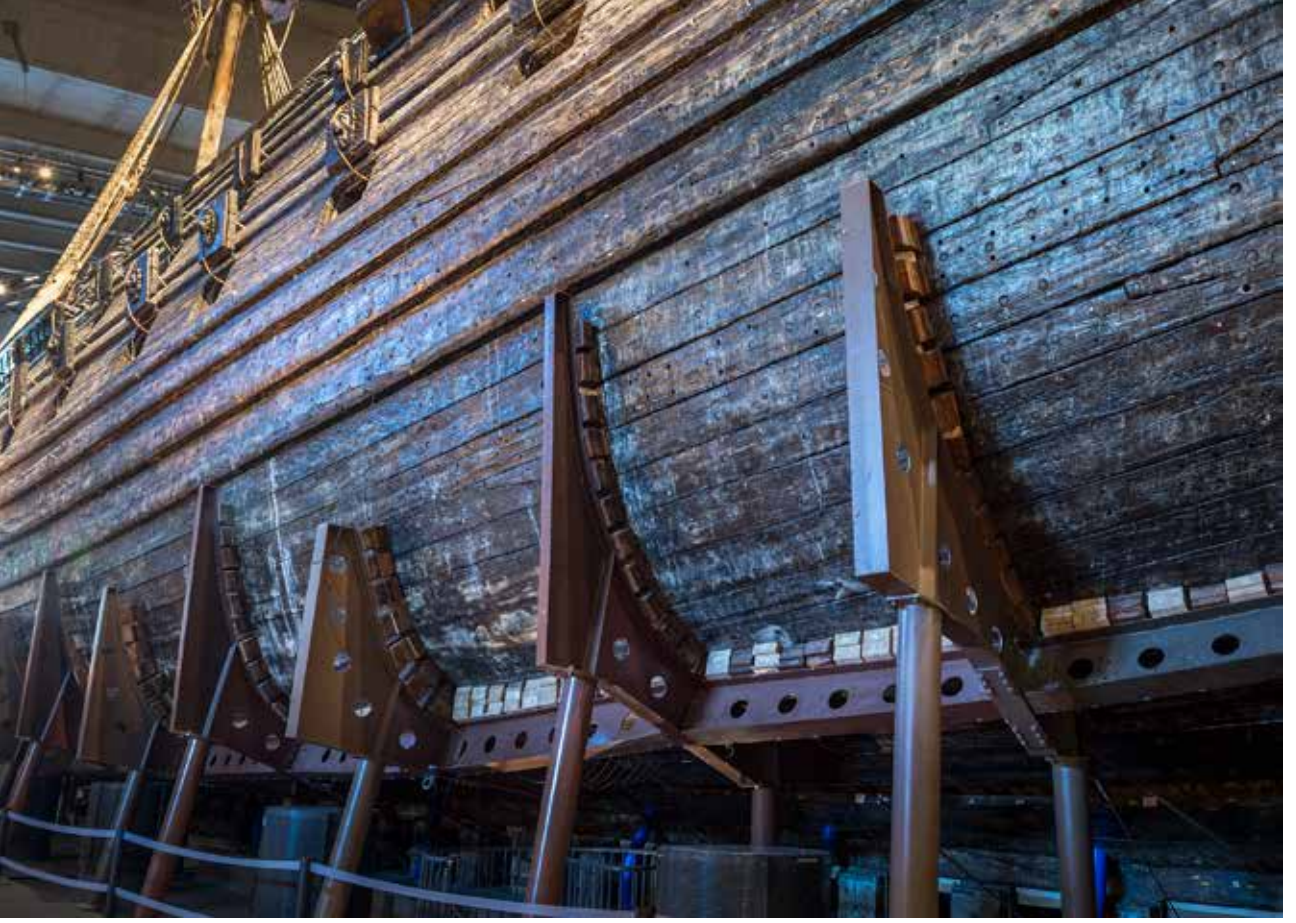


Fig. 13: Mevcut destek kızıağında görülen, 2008 yılında eklenen takozlar (açık renkli).

Fig. 13: The current support cradle showing additional (light coloured) wedges which were added in 2008.

Dikey hareketleri en aza indirmek için 2008 yılında gövdeye temas etmekte olan takoz paketçiklerinin sayısı artırılmıştır. Kızak kolonlarını bağlayan uzunlamasına kirişler kullanılarak, bu düzeneğin gemiyle kızak arasındaki desteği etkin bir şekilde üç katına çıkarması sağlanmıştır (Fig. 13). Omurga altındaki destek de aynı şekilde omurga blokları arasındaki boşluklara ayarlanabilen çelik vida destekleri eklenerek iki katına çıkarılmıştır (Fig. 14). Balsa ağacından destekler doğrudan omurga konturlarına baskı yapan omurganın altına yerleştirilmiş, bu şekilde daha eşit bir ağırlık dağılımıyla takviye sağlanmıştır. Bunu izleyen jeodezik ölçümler önlemlerin dikey hareketleri azalttığını ortaya koymuştur.

Yeni bir destek monte edilemeden, gövdenin mümkün olduğu kadar sağlamlaştırılması gerekiyordu. Gövdeyi ahşap bağlantılar, ağaç çiviler, kerestelerin arasındaki birleştirici çentikler ve demir cıvatalar bir arada tutmaktadır. Bu sistem yalnızca bileşenler arasında iyi bir uygunluk varsa işlerlik kazanabilir ve sürtünme kuvvetinin bunları yerinde tutmasını sağlar; böylece yükler etkin bir şekilde aktarılabilir.

To minimize the vertical movements, in 2008, the number of wedge packets in contact with the hull was increased. By making use of the longitudinal beams connecting the cradle stanchions, this has effectively tripled the support between the ship and cradle (Fig. 13). Also, the support underneath the keel was doubled, by adding adjustable steel screw supports in the gaps between the keel blocks (Fig. 14). Planks of balsawood have been inserted directly under the keel, which compress to the contours of the keel, thus providing more even support. Subsequent geodetic measurements have shown that these measures have been effective in reducing vertical movements.

Before any new support can be installed, it was necessary to make the hull as stiff as possible. The hull is held together by the combined effects of wooden joints, treenails, notches between timbers, and the iron bolts. This system only functions if there is a good fit between these components, allowing frictional forces to hold them in place so that loads can be transferred efficiently.



Fig. 14: Omurga bloklarının aralarına 1960’larda yerleştirilen ayarlanabilen çelik vida destekleri. Görülen diğer çelik kolon ana direğin ağırlığını taşıması amacıyla 1990’larda eklenmiştir.

Fig. 14: Adjustable steel screw supports added between the 1960’s wooden keel blocks. Also shown is the steel column, added in the 1990s to carry the weight of the main mast.

Ahşabın çektiği durumlarda, kerestelerle bileşenler arasında artık sürtünme kuvveti olamaz, dolayısıyla bileşenler gevşek kalır. Bu nedenle yükler, genellikle zıt yönlerde hareket eden kuvvetlere dayanmak zorunda olan ve kesilme eğilimi gösteren cıvatalar üzerinde yoğunlaşır.

1960’lı yıllarda takılan cıvatalar yumuşak çelikten yapılmıştı ve çoğu zaman epoksi kaplıydı; ahşapla iyi bir temas sağlanabilmesi için somunlarına düzenli olarak sıkılması gerekiyordu. Ahşap yıllar içerisinde kuruduğundan, somunlar peş peşe gelen marangozlar ve teknisyenler tarafından aralıklarla sıkılaştırılmıştır. Yapılan iş üzerinde herhangi bir kontrol yapılmadığından, bu işin yarardan çok zarar getirdiği söylenebilir. Birçok durumda farklılık gösteren gerilimlerde ayarlamalar yapılmış ve cıvataların gereğinden çok sıkıştırılmış olması somun ve pulların ahşabın yüzeyini zorlamasına neden olmuştur. Cıvataların birçoğu bulundukları yerde korozyona uğramıştır; böylece hemen yanlarındaki ahşap parçasına sıkıca yapışarak keresteler kurudukça eşit olmayan şekilde ayarlar yapılmasına neden olmuştur. Cıvatalar artık gemiyi sabit bir yapı olarak bir arada tutamayacak duruma geldiğinde tamamen yeni bir dizaynla daha durağan bir malzemenin bunların yerini almasına karar verilmiştir.

In cases where the wood has shrunk, there are no longer frictional forces between the timbers and the components are loose. The loads are therefore concentrated on the bolts, which often have to withstand forces acting in opposite directions and are liable to shear.

The bolts inserted in the 1960s were of mild steel often coated with epoxy paint, with end nuts, that required regular adjustment to ensure good contact with the wood. As the wood dried over the years, the nuts were tightened intermittently by successive teams of carpenters and technicians. Since there was no control over the work, this may have resulted in more harm than good. In many cases, differential stresses had been set up and over-tightening of the bolts had forced the nuts and washers into the surface of the wood. Many of the bolts had also corroded in place, sticking fast to the adjacent wood and setting up uneven tensions as the timbers continued to dry out. As the bolts were no longer functioning to hold the ship together as a rigid structure, a decision was taken to replace them with a more inert material of a completely new design.

In cooperation with Sandvik AB, one of the world’s foremost steel manufacturing companies based in Sweden, the museum carpenters developed an

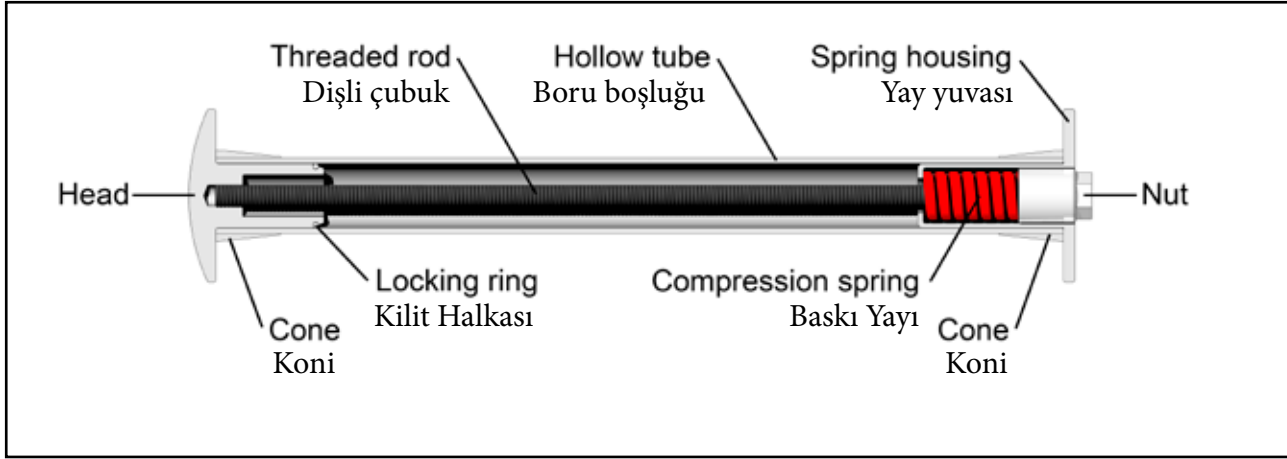


Fig. 15: Yeni cıvata dizaynı; boş boru, içi dişli çubuk ve içerde uçtaki baskılı yay (kırmızı).

Fig. 15: The new bolt design; a hollow tube and internal threaded rod, with a compression spring (red) on the inner end.

İsveç'te yerleşik, dünyanın önde gelen çelik üretim şirketlerinden biri olan Sandvik AB ile işbirliğiyle, müzenin marangozları yenilikçi bir tasarım geliştirmiştir. Somun ve pullu geleneksel madeni cıvata yerine yeni tasarım yedi veya sekiz bileşenden oluşmaktadır; boş bir tüp, iç dişli çubuk ve özel uç bileşenleri içerir (Fig. 15). Çubuğun bir ucu, özellikle bir açıyla yerleştirildiğinde düşmesini önlemek için bir kilitleme halkası tarafından yerinde tutulan cıvata başlığına bağlanırken, iç uç bir şapka şeklinde yaylı mahfaza (geleneksel pul yerine) ve somun ile yerinde tutulan sert bir sıkıştırma yayı ile bağlanır. Yay muhafazası kuvvetleri yayar ve yayı yerinde tutar. Muhtemelen en kritik elemanlar, yaylardan gelen kuvvetlerin çoğunu emen ve tüpü her yerinde sıkıca yerinde tutmak için yerleştirilen iki koni şeklindeki halkadır.

Cıvatalar, kimyasal tesisler ve açık deniz petrol endüstrisi için geliştirilmiş çelik bir alaşımdan, % 27 krom ve % 7 nikel içeren hiper-dubleks paslanmaz çelikten (SAF 2507® ve SAF 2707 HD®) ve ilave alaşım elementlerinden üretilmektedir. SAF 2507® cıvata başı, somun, yay muhafazası ve konilerde kullanılırken, SAF 2707 HD® borularda kullanılmaktadır. Malzemeyi ücretsiz olarak sağlayan Sandvik ile yapılan anlaşmaya göre, cıvataların *Vasa*'nın ahşabı içindeki asidik koşullara karşı uzun vadeli korozyon direncini önümüzdeki 150 yıl boyunca izlemeye devam edecekler. Yeni tasarım birçok avantaj sunuyor. Yay sabit basınç sağladığından (gerekirse ölçülebilir) cıvatalar, geleneksel cıvatalar gibi periyodik ayar gerektirmemektedir. Ortalama bir cıvatanın ağırlığı, yaklaşık 3 kg'ı 1,6 kg arasında yarıya indirilir ve bu da potansiyel olarak gemiden yaklaşık 7 ton ağırlık tasarrufu sağlar. Ek olarak, cıvataların iç uçları artık ahşapların dışına çıkmamaktadır ki bu da gemide çalışanların çok takdir ettiği bir güvenlik özelliğidir.

innovative design. Instead of a traditional solid metal bolt with washer and nut, the new design consists of seven or eight components, comprising a hollow tube, an internal threaded rod and specialised end components (Fig. 15). One end of the rod is connected to the bolt head, which is held in place by a locking ring to prevent it falling off, especially when inserted at an angle, while the inner end connects with a stiff compression spring held in place by a hat-shaped spring housing (instead of a traditional washer) and nut. The spring housing spreads out the forces and holds the spring in place. Probably the most critical elements are the two cone-shaped rings, which absorb most of the forces from the springs and are placed on each end of the tube to hold it snugly in place.

The bolts are manufactured from a steel alloy developed for chemical plants and the off-shore oil industry, a hyper-duplex stainless steel (SAF 2507® and SAF 2707 HD®) containing 27% chromium and 7% nickel along with additional alloying elements. SAF 2507® is used for the bolt head, nut, spring housing and cones, while SAF 2707 HD® is used for the tube. Sandvik has provided the material free of charge, with the agreement that they will continue to monitor the bolts' long-term corrosion resistance to the acidic conditions inside *Vasa*'s wood over the next 150 years. The new design offers many advantages. The bolts do not require periodic adjustment, as did the traditional bolts, since the spring provides constant pressure (which can be measured, if necessary). The weight of an average bolt is halved, from ca 3 kg to 1.6 kg, which potentially saves an estimated 7 tonnes of weight from the ship. Additionally, the interior ends of the bolts no longer project beyond the timbers – a safety feature much appreciated by those who work on the ship.



Fig. 16: Baş üstü vinçten asılmış özel bir sıkma aleti kullanarak cıvataların değiştirilmesi.

Fig. 16: Replacing bolts using a special extractor tool suspended from an overhead crane.

Yaklaşık 5000 cıvatayı değiştirme projesi 2011 sonbaharında başlamış, 2017 yılında sona ermiştir; ancak birkaç cıvataya erişilememiştir ve eski beşik çıkarıldığında değiştirilmeleri gerekecektir. Eski bir cıvatayı sökmek ve motoru tersine çevirmek suretiyle yeni cıvatayı çekmek için özel bir çekme aleti, bir tür motorlu vidalı krika tasarlanmıştır (Fig. 16). Yaklaşık 80 kg ağırlığında olan alet, teknenin dış kısmında kullanılmak üzere gezer vinçten asılmıştır, ancak daha sonra iç mekânın daha dar alanlarında kullanılmak üzere 15-20 kg ağırlığındaki daha küçük versiyonlar geliştirilmiştir. İki cıvata deliği aynı uzunlukta olmadığından, her cıvatanın uzunlamasına kesilmesi gerekiyordu. Yeni cıvata, ahşapla iyi temas sağlayan 22.5 mm çaplı eski cıvatalarla karşılaştırıldığında 28 mm çapında biraz daha büyüktür, ancak bu, eski demir korozyon ürünlerini kaldırmak için orijinal delikleri hafifçe genişletmek anlamına gelmiştir.

The project to replace the ca 5000 bolts began in autumn 2011 and was concluded in 2017, although a few bolts remain inaccessible and will have to be changed when the old cradle is removed. A special extractor tool, a type of motorized screw jack, was designed to remove the old bolt, and, by reversing the motor, also to pull in the new bolt (Fig. 16). Weighing about 80 kg, the tool was suspended from the overhead crane for use on the exterior of the hull, but smaller versions, weighing 15-20 kg, were later developed for use inside the more confined spaces of the interior. As no two bolt holes were the same length, each bolt had to be cut to length. The new bolt is slightly larger in diameter, 28 mm, compared with the old bolts of 22.5 mm diameter, which ensures good contact with the wood, but this has meant enlarging the original holes slightly to remove older iron corrosion products.

YENİ DESTEK YAPISININ PLANLAMASI

Gemi için yeni bir destek yapısı tasarlamaya hazırlanırken, geminin yapısındaki her bir ahşap *total station* yardımıyla 3 boyutlu olarak ayrıntılı bir şekilde belgelenmiştir (Fig. 17). Bu belgeleme yapının nasıl bir arada tutulduğunu anlamının yanı sıra desteğin nerede gerekli olduğunu belirleyebilmek için ağırlık dağılımının hesaplanmasına izin vermiştir. Belgeler geminin asimetrik olarak inşa edildiğini ve gaga şekilli burunun orijinal konstrüksiyonun bir sonucu olan iskele tarafına işaret ettiğini doğrulamıştır. Ayrıca, ön iskele tarafında en az 23 eğrinin kırık olduğu da görülmektedir. Sonuç olarak, bu alandaki gövde artık katı değildir. Dört dış borda kaplaması test için çıkarıldığında, muhtemelen gemilerin yanlarının farklı olarak yerleşmesinin bir sonucu olarak, ağaç çivilerin yaklaşık %50'sinin kesildiği ortaya çıkmıştır. Aynı durum geminin diğer kısımları için de geçerliyse gövdenin birincil yapısı zayıflayacaktır, bu da yeni destek sisteminde dikkate alınması gereken bir faktördür.

Bu veriler, Uppsala Üniversitesi uzmanları tarafından yeni destek yapısı tasarımlarını geliştirilme ve test edilmesine yardımcı olacak olan analitik bir araç olarak geminin Sonlu Eleman (FE) modelini oluşturmada kullanılan bir tel çerçeve modeli sağlamıştır.⁴² Yararlı olması için, böyle bir model yeterince ayrıntılı olmalı, ancak işlenemeyecek kadar karmaşık olmamalıdır. FE modeli, jeodezik veriler gibi çeşitli kaynaklardan bilinen verilere ve mekanik çalışmalardan alınan verilere karşı sürekli olarak doğrulanmalıdır. Bununla birlikte, tüm mekanik özellik verileri daha küçük numunelerden elde edilemez ve ölçeklendirilemez. Geminin geometrisinin detayları ve yüklerin kereste arasındaki fiziksel derzler ve bağlantı elemanları üzerinden nasıl aktarıldığı tam ölçekli olarak elde edilmelidir.

PLANNING FOR A NEW SUPPORT STRUCTURE

In preparation for designing a new support structure for the ship, a detailed 3-d documentation of every timber in the ship's structure has been made with the help of a total station (Fig. 17). This has helped to understand how the structure is held together as well as allowing the weight distribution to be calculated in order to determine where support is needed. The documentation confirmed that the ship was built asymmetrically, and the beakhead points to port, which is a result of the original construction. It also appears that at least 23 frames on the forward portside are broken. Consequently, the hull in this area is no longer rigid. Test removal of four exterior planks has also revealed that around 50% of the treenails have sheared off, probably a result of differential settling of the sides of the ship. If this is true for other parts of the ship, then this will impart a weakness to the primary structure of the hull, a factor that will have to be considered in the new support system.

This data has provided a wire-frame model that has been used by experts from Uppsala University to create a Finite Element (FE) model of the ship as an analytical tool to help develop and test new support structure designs.⁴² To be useful, such a model must be sufficiently detailed, but not so complex that it is unworkable. The FE model must be constantly validated against known data from various sources, such as the geodetic data, as well as data from the mechanical studies. However, not all mechanical property data can be obtained from smaller samples, and scaled up. Details of the ship's geometry and how loads are transferred through the physical joints and fasteners between timbers must be obtained from the full-scale.

42 AFSHAR vd. 2017, 62-76.

42 AFSHAR et al.2017, 62-76.

Fig. 17: *Total station* kullanılarak oluşturulan geminin dışının tel çerçeve biçimindeki verisi..

Fig. 17: Raw data in wire-frame form of the exterior of the ship, created using a *total station*.

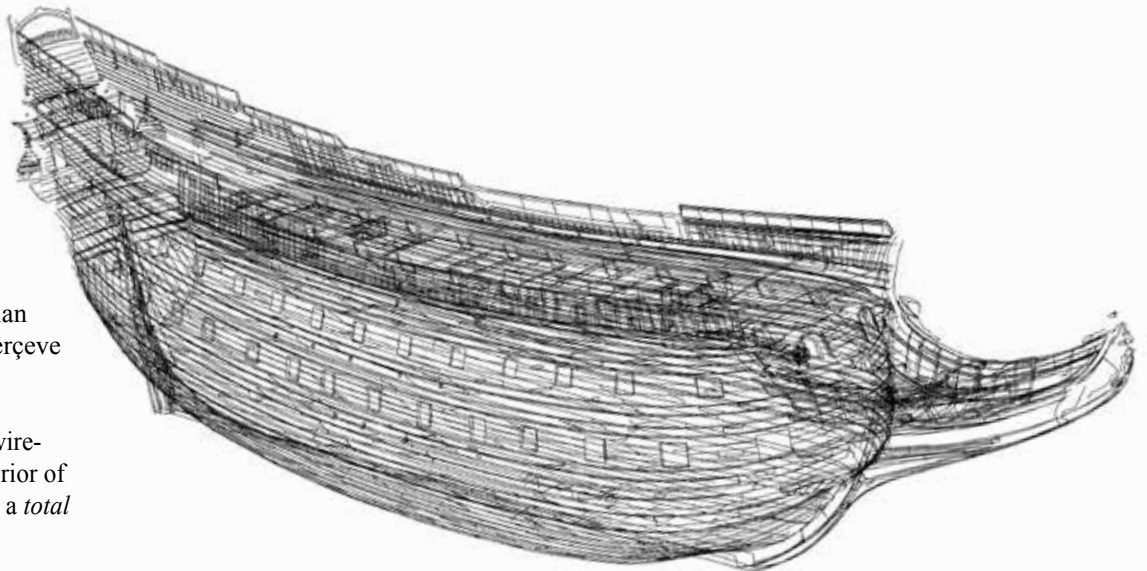




Fig. 18: Geminin bir yanının tam ölçekli inşası.

Fig. 18: Construction of a full-scale section of the ship's side.

Zarar verme olasılığı bulunan testler geminin üzerinde yapılamadığından, 2014 yılında tipik bir gövde bölümündeki gerçek boyutlara dayanarak, gemi tarafının temsili bir bölümünün tam ölçekli bir kopyası yapılmıştır (Fig. 18). Amaç, özellikle güverte yüklerinin geminin yanlarına transfer edildiği durumda, gövdenin sertlik değerlerini ölçmektir. Kopya, kereste ve cıvata kombinasyonları arasındaki farklı fiziksel birleşimler ve çentikler de dâhil olmak üzere güverteleri yanlara bağlayan tüm büyük bağlantıları içeriyordu. Orijinali gibi Avrupa meşesinden (*Quercus robur*) inşa edilen bölüm 3.5 x 4 x 5 m ölçülerinde ve tüm elemanlar yerinde olduğunda 8 ton ağırlığındaydı.

Kopya, Stockholm'deki Kraliyet Teknoloji Enstitüsü'ndeki mekanik test tesisine nakledildi ve metal bir alt çerçeveye sabitlendi. Daha sonra üç kuvvet şartına tabi tutuldu; düzlemsel kesme, sıkıştırma-bükme ve döndürme (Fig. 19). Test, tüm yapı yerinde iken başladı, ancak su yolu (uzunlamasına sertleştirme kerestesi) ve ardından bir paraçol, vb. ile başlayarak, sertleşen çeşitli bileşenlerin her biri kademeli olarak çıkarıldı ve bileşenler artık sıkıca takılmadığında her bir bağlantının nasıl performans gösterdiği, çevre koşulları olan 20°C ve % 55 bağıl nemde üç kez test edilmiştir. Önemli bir konu da testlerin tekrarlanması gerektiğinden, tamamlanmak

Since potentially damaging tests could not be done on the ship itself, in 2014, a full-scale replica of a representative section of the ship's side was built, based on actual dimensions from a typical hull section (Fig 18). The goal was to quantify the stiffness values of the hull, in particular where the loads of the decks are transferred to the sides of the ship. The replica incorporated all the major joints which attach the decks to the sides, including the different physical joints and notches between timbers and the bolt combinations. Built of European oak (*Quercus robur*), as was the original, the section measured 3.5 x 4 x 5 m and weighed 8 tonnes when all the elements were in place.

The replica was transported to a mechanical testing facility at the Royal Institute of Technology in Stockholm, and secured in a metal sub-frame. It was then subjected to three force conditions; in-plane shear, compression-bending and rotation (Fig. 19). Testing began with the complete structure in place, but gradually each of the various stiffening components were removed, beginning with the waterway (the longitudinal stiffening timber), followed by a knee, etc. Each test was repeated three times in ambient climate conditions of 20°C and 55% RH in order to test how each joint performed when the components no longer fitted tightly. Importantly, since the tests needed to be repeated, they were not carried out to completion (i.e. they were stopped before failure occurred), and only a moderate maximum load was used.⁴³

43 VOROBYEV *et al.* 2018, 1-8



Fig. 19: Gerçek gemide bu tür testler yapılamadığı için geminin yan tarafındaki eklemlerin sertliğinin test edilmesi.
Fig. 19: Testing the stiffness of the joints in the section of ship's side since such tests could not be done on the actual ship.

amacıyla yapılmamıştır (yani hata oluşmadan önce durduruldular) ve sadece ortalama bir maksimum yük kullanılmıştır.⁴³ Sonuçta, her bir bağlantı türü için ortalama sertlik değerleri elde edilmiştir. Gemideki gerçek sertlik değerleri (PEG ile işlenmiş arkeolojik ahşap) testten elde edilen değerlerden daha düşük olsa da, buna izin vermek için FE modeline bir kalibrasyon parametresi eklenmiştir.

GELECEK

FE modeli tamamlanmaya yaklaşıırken, bir sonraki aşama çeşitli destek tasarımlarını test etmektir. Müze, karmaşık teknik çözümler konusunda uzmanlaşmış bir mühendislik firması olan Camatec AB ile pratik çözümleri tartışan bir proje yönetim şirketi olan Bonorum AB'yi görevlendirmiştir. Yeni desteğin amacı, gövdenin mevcut şeklini korumak ve yükleri daha iyi dağıtarak hareketi ve daha fazla çatlamayı azaltmaktır. Çözüm, muhtemelen bir iç iskeletin yanı sıra harici bir destek içerecektir; ancak herhangi bir yeni bileşenin geminin görünümünü veya gövdenin etrafındaki erişilebilirliği engellemesi istenmemektedir.

Ultimately, the average stiffness values were obtained for each type of joint. Although the actual stiffness values in the ship (archaeological wood treated with PEG) are lower than the values obtained from the testing, a calibration parameter has been introduced into the FE model to allow for this.

THE FUTURE

With the FE model nearing completion, the next phase is to test various support designs. The museum has employed a project management company, Bonorum AB, who is discussing practical solutions with Camatec AB, an engineering firm that specialises in complex technical solutions. The goal of a new support is to preserve the existing shape of the hull and better distribute loads, while minimizing movement and further cracking. The solution will likely involve an internal skeleton, as well as an external support, though it is desirable that any new components do not obscure views of the ship or hinder accessibility around the hull. Once the support is in place, the aim is to use it to rotate the hull slightly so that the masts are closer to the vertical. At time of writing, however, the situation with the Covid-19 pandemic means that the museum has had to scale back its activities. It is therefore not possible to give a timetable for this project.

43 VOROBYEV vd. 2018, 1-8

Destek yerleştirildikten sonra amaç, direkleri dikeye daha yakın olacak şekilde gövdeyi hafifçe döndürmek için kullanmaktır. Bununla birlikte, yazı yazıldığı sırada, Covid-19 salgını ile ilgili durum müzeyi faaliyetlerini azaltmak zorunda bırakmıştır. Bu nedenle, bu proje için bir zaman çizelgesi vermek şu anda mümkün değildir.

Son olarak, karşılaşılan zorluklardan biri, arkeolojik, araştırma ve koruma çalışmaları ile üretilen tüm bilgileri yönetmek ve gemideki konumla ilgili olarak uygun bir şekilde sunmaktır. Örneğin, tuz salgınlarının veya çatlakların ahşap içindeki dağılımını incelemek faydalı olabilir; bu da daha büyük üç boyutlu ilişkilere ipucu verebilir. Bu nedenle, koruma personeli, tüm iç ve dış yüzeylerin bir yönetim aracı olarak fotogrametrik modellenmesine dayanan ve bu bilgilerin eklenebileceği bir GIS'i (Küresel Bilgi Sistemini) etkin bir şekilde geliştirmektedir. Neredeyse 60 yıl sonra, *Vasa* projesi karmaşık sorunlara yenilikçi çözümler aramaya devam etmektedir.⁴⁴

Finally, one of the challenges is managing all the information that has been produced through archaeological, research and preservation studies, and present it in a convenient way in relation to location on the ship. For instance, it would be useful to examine the distribution of salt outbreaks or cracks in timbers, which might give clues to larger three-dimensional relationships. Therefore, the preservation staff are developing what is effectively a GIS (Global Information System) based on photogrammetric modeling of all the interior and exterior surfaces as a management tool, onto which this information can be attached. After almost 60 years, the *Vasa* project continues to seek innovative solutions to complex problems.⁴⁴

44 Bu makale E. Hocker'ın 2018 yılında Londra'daki Archetype Matbaası'nda basılan Preserving Vasa adlı eserinin bir özetidir.

44 This article is a summary of the book, Preserving Vasa, by E. Hocker, Archetype Press, London, 2018.

KAYNAKÇA-BIBLIOGRAPHY

- AFSHAR vd. 2017 Afshar, R., van Dijk, N.P., Bjurhager, I., Gamstedt, E.K. "Comparison of experimental testing and finite element modelling of a replica of a section of the Vasa warship to identify the behavior of structural joints," *Engineering Structures* 147, 2017, 62-76.
- ALMKVIST 2008 Almkvist, G., *The Chemistry of the Vasa – Iron, Acids and Degradation*, PhD thesis, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, 2008.
- ALMKVIST-PERSSON 2008a Almkvist, G., Persson, I., "Degradation of polyethylene glycol and hemicelluloses in the Vasa," *Holzforschung* 62(2), 2008, 64-70.
- ALMKVIST-PERSSON 2008b Almkvist, G., Persson, I., "Analysis of acids and degradation products related to iron and sulfur in the Swedish warship Vasa," *Holzforschung* 62(6), 2008, 694-703.
- ARRHENIUS 1967 Arrhenius, O., "Corrosion on the warship Wasa", *Swedish Corrosion Institute Bulletin* 48, 1967, 3.
- BARKMAN 1975 Barkman, L., "The preservation of the warship, Wasa," *Problems of the Conservation of Waterlogged Wood, Proceedings of a Symposium held at the National Maritime Museum Greenwich, 5-6 October 1973*, W.A. Oddy (ed.), National Maritime Museum Monographs and Reports 16, 1975: 65-104.
- BJURHAGER vd. 2012 Bjurhager, I., Halonen, H., Lindfors, E.-L., Iversen, T., Almkvist, G., Gamstedt, E.K., Berglund, L., "State of degradation in archaeological oak from the 17th century Vasa ship: substantial strength loss correlates with reduction in (holo)cellulose molecular weight," *Biomacromolecules* 13, 2012, 2521-2527.
- BRORSON CHRSTENSEN 1970 Brorson Chrstensen, B. "The conservation of waterlogged wood in the National Museum of Denmark", *Studies in Museum Technology I*, National Museum of Denmark, 1970.
- CARLSON 2002 Carlson, D. "Caligula's Floating Palaces," *Archaeology* 55(3), May/June 2002, 31.
- CEDERLUND-HOCKER Cederlund, C.O., *Hocker, F., Vasa I: The Archaeology of a Swedish Warship of 1628*, Stockholm, 2006.
- FORS 2008 Fors Y., *Sulfur-Related Conservation Concerns for Marine Archaeological Wood*, PhD thesis, Stockholm University, 2008.
- FORS-RICHARDS 2010 Fors, Y., Richards, V., "The effects of ammonia neutralizing treatment on marine archaeological Vasa wood," *Studies in Conservation* 55, 2010, 41-54.
- FORS-SANDSTRÖM 2006 Fors, Y., Sandström, M., "Sulfur and iron in shipwrecks cause conservation concerns," *Chem. Soc. Rev.*, 35, 2006, 1-17.
- GLASTRUP 1996 Glastrup, J., "Degradation of polyethylene glycol: A study of the reaction mechanism in a model molecule: Tetraethylene glycol," *Polymer Degradation and Stability* 52 (3), 1996, 217-222.
- HOCKER 2018 Hocker, E. *Preserving Vasa, Archetype*, London, 2018.
- HOCKER 2010 Hocker, E., "Maintaining a Stable Environment: Vasa's New Climate-Control System," *Bulletin of the Association for Preservation Technology* 41(2-3), 2010, 5-7.

- HOCKER vd. 2012 Hocker, E., Almkvist, G., Salhstedt, M., "The Vasa experience with polyethylene glycol: A conservator's perspective," *Journal of Cultural Heritage* 13(35), 2012, 175-182.
- HOCKER vd. 2009 Hocker, E., Dal, L., Hocker, F. "Understanding Vasa's salt problem: documenting the distribution of salt precipitations on the Swedish warship, Vasa" *Proceedings of the 10th ICOM-CC Working Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference, Amsterdam, September 2007*, K. Straetkvern and H. Huisman (eds), 2009, 460-80.
- HOFFMANN 1984 Hoffmann, P. "On the stabilisation of waterlogged wood with PEG – molecular size versus degree of degradation," *Proceedings of the 2nd ICOM-Group on Wet Organic Archaeological Materials conference, Grenoble*. CETBGE-CENG ORIS, Grenoble, 1984, 95–116.
- HOTCHKISS 2008 Hotchkiss, S., Landy, E., Pang, K.-L., Mitchell, J., "Bacteria in Archaeological Waterlogged Wood: Molecular Protocols for Diversity and Community Studies," *Heritage, Microbiology and Science*, E. May, M. Jones, J. Mitchell (eds), Roy. Soc. Chem. Special publ. No. 135, Cambridge 2008, 108-127.
- HÅFORS 2001 Håfors, B., *Conservation of the Swedish Warship Vasa from 1628*, Stockholm, 2001.
- JONES 2003 Jones, M. (ed.) *For Future Generations: Conservation of a Tudor Maritime Collection, The Archaeology of the Mary Rose 5*, 2003.
- LINDFORS vd. 2008 Lindfors, E.- L., Lindström, M., Iversen, T., "Polysaccharide degradation in water-logged oak wood from the ancient warship Vasa," *Holz-forschung*, 62(1) 2008, 57-63.
- LJUNGDAL-BERGLUND 2007 Ljungdal, J., Berglund, L., "Transverse mechanical behavior and moisture absorption of waterlogged archaeological wood from the Vasa ship," *Holzforschung* 61(3), 2007, 279-284.
- MATTHIESEN-MORTENSEN 2010 Matthiesen, H., Mortensen, M.N., "Oxygen measurements in conserved archaeological wood," *Proceedings of the 11th ICOM-CC Working Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference, Greenville, May 2010*, K. Straetkvern and E. Williams (eds), Greenville 2010, 123-35.
- MORTENSEN 2009 Mortenson, M.N., *Stabilization of polyethylene glycol in archaeological wood*, PhD thesis, Technical University of Denmark, Lyngby 2009.
- NORBAKHSH 2013 Norbakhsh, S., Bjurhager, I., Almkvist, G., "Mimicking of the strength loss in the Vasa: model experiments with iron-impregnated recent oak," *Holzforschung* 67(6), 2013, 707-14.
- ROSENQVIST 1959 Rosenqvist, A.M., "The stabilizing of wood found in the Viking ship of Oseberg, Part I", *Studies in Conservation* 4, 1959, 13-22, and Part II, *Studies in Conservation* 4, 1959, 69.
- SANDSTRÖM vd. 2002 Sandström, M., Jalilehvand, F., Persson, I., Gelius, U., Frank P., Hall-Roth, I., "Deterioration of the seventeenth-century warship Vasa by internal formation of sulfuric acid," *Nature* 415, 2002, 893-897.

- VOROBYEV 2017 Vorobyev, A., *Static and Time-dependent Mechanical Behaviour of Preserved Archaeological Wood: Case Studies of the Seventeenth Century Warship Vasa*, PhD dissertation, Dept. of Engineering Sciences, Faculty of Science and Technology, Uppsala University, 2017.
- VOROBYEV vd. 2018 Vorobyev, A., Garnier, F., van Dijk, N.P., Hagman, O., Gamstedt, E.K., "Evaluation of displacements by means of 3D laser scanning in a mechanically loaded replica of a hull section of the Vasa ship," *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage* 11, 2018, 1-8.
- VOROBYEV vd. 2017 Vorobyev, A., Almkvist, G., van Dijk, N.P., Gamstedt, E.K., "Relations of density, polyethylene glycol treatment and moisture content with stiffness properties of Vasa oak samples," *Holzforschung* 71 (4) 2017, 327-35.
- VOROBYEV vd. 2016 Vorobyev, A., Arnould, O., Laus, D., Longo, R., van Dijk, N.P., Gamstedt, E.K. "Characterisation of cubic oak specimens from the Vasa ship and recent wood by means of quasi-static loading and resonance ultrasound spectroscopy (RUS)", *Holzforschung* 70(5): 457-65, 2016.
- VOROBYEV vd. 2019 Vorobyev, A., van Dijk, N.P., Gamstedt, E.K., "Orthotropic creep in polyethylene glycol impregnated archaeological oak from the Vasa ship Results of creep experiments in a museum-like climate," *Mechanics of Time-Dependent Materials* 23(1) 2019, 35-52.

*ATALARIMIZIN OMUZLARINDA YÜKSELMEK
– BİR ALTYAPI VE BİR BAKIŞ AÇISI.
DANİMARKA'DA SUYA DOYMUŞ ARKEOLOJİK
GEMİ BATIKLARININ KONSERVASYON
ÇALIŞMALARIYLA GEÇEN ELLİ YIL*

*STANDING ON THE SHOULDERS OF OUR
PREDECESSORS – A BASE AND A VIEWPOINT.
FIFTY YEARS OF WORKING WITH CONSERVATION
OF WATERLOGGED ARCHAEOLOGICAL
SHIPWRECKS IN DENMARK*

Danimarka Ulusal Müzesi'nde
Roskilde-6 sergisi.
Roskilde 6 on exhibition at the
National Museum of Denmark.





*Anette Hjelm Petersen



**Kristiane Strætkvern

Anahtar kelimeler: Konservasyon, batık, PEG, dondurarak kurutma, kazı, bozunmanın değerlendirilmesi.

Keywords: Conservation, shipwrecks, PEG, freeze-drying, excavation, assessing degradation.

ÖZET

Üzerinden yaklaşık 50 yıl geçmiş olmasına rağmen Roskilde gemilerinin konservasyon süreci Skuldelev gemilerinde izlenen adımlarla benzer şekilde cereyan etmiştir. Bu adımlar; ahşabın korunma durumunun değerlendirilmesi, seçilen emdirmeye ve kurutma yöntemleri, sergide iklimlendirme için öneriler, sergileme için montaj, bakımı ve uzun süre korunabilirliğinin değerlendirilmesini içerir. Konservasyonda kullanılan farklı yöntemler, gemi enkazlarının korunması için gerekli kapsamlı teknik ve ekonomik kaynakları yansıtmaktadır. Kaynaklar sınırlıysa, kapsamlı arkeolojik buluntular sıklıkla belirli bir sürede kaydedilen bilimsel ve teknik ilerlemeler yeni ve daha iyi konservasyon yöntemlerine evrildiğinde, daha az kaynak gerektiren yöntemlerin geliştirilmesine yol açar.

Skuldelev gemileri 1957-1962 yılları arasında kazılmış olup, konservasyon çalışmaları 1962-1975 yılları arasında yapılmıştır. Batıkların konservasyon işlemlerine başlandığında, en çok kullanılan yöntemler hala alüminyum sülfat (şap) ve kreozot / petrol uygulamalarıydı. Bu yöntemler oldukça yetersiz olduğundan, Skuldelev gemileri Danimarka'da konservasyonu Polietilen glikol (PEG) ile yapılan ilk ahşap arkeolojik eserler olarak Ulusal Müze'de yürütülen konservasyon çalışmalarında yepyeni bir dönem başlatmıştır. % 100 PEG emdirmeye ve tersiyer butanolden dondurarak kurutma gibi yeni konservasyon yöntemleri kullanılmaya başlanmıştır.

Birkaç yıl sonra, Roskilde'deki Viking Gemi Müzesi'nde yeni bir müze limanı inşaatı için yapılan kazılar sırasında yine büyük bir arkeolojik buluntu grubu olan Roskilde gemileri keşfedilmiştir. Batıkların kazıları 1996 - 1997 yılları arasında yapılarak 1998 yılında konservasyon süreci başlamıştır. O tarihte PEG suya doymuş ahşaplarda emdirmeye işlemi için en sık kullanılan maddeydi. Bununla birlikte, konservasyon becerileri ve teknik gelişmelerdeki ilerlemeler nedeniyle uygulama yöntemi yıllar içinde değişmiştir. Örneğin, ahşap % 40 sulu PEG çözeltileriyle emdirilerek, ahşabın yüzeyinin işlenmesini ve tahribatını en aza indirebilmek için doğru şekli elde etmek amacıyla kalıplar içinde dondurularak kurutulmuşlardır.

ABSTRACT

Although nearly 50 years apart, the Roskilde ships would follow nearly the same steps during their conservation as the Skuldelev ships. These steps include: assessment of the state of preservation of the wood, selected impregnation and drying methods, recommended exhibition climate, mounting for exhibition, maintenance and evaluation of long term stability. The different methods used for conservation reflect the extensive technical and economic resources required for the conservation of shipwrecks. When resources are limited, large archaeological finds often lead to development of new, less resource demanding methods when scientific and technical progresses made over a period of time evolve into new and better conservation methods.

The Skuldelev ships were excavated between 1957 and 1962 and conserved in the period from 1962 to 1975. When the conservation of the wrecks started, the most used methods were still alum and creosote/petroleum treatments. As these methods were quite inadequate, the Skuldelev ships were the first wooden archaeological finds to be conserved with Polyethylene glycol (PEG) in Denmark and thereby opening a whole new era in conservation at the National Museum. New conservation methods, such as 100% PEG impregnation and freeze-drying from tertiary butanol, were introduced.

Several years later a new large archaeological find, the Roskilde ships, was discovered during excavation of a new museum harbour at the Viking Ship Museum in Roskilde. The excavation took place from 1996 to 1997 and when the conservation started in 1998, PEG was still the most frequently used impregnation agent for waterlogged wood. However, its application has changed over the years due to the progress in the conservation skills and technical developments. For example, wood has been impregnated with 40% aqueous PEG solutions and freeze-dried in moulds to obtain the correct shape in order to minimize handling and destruction of the surface of the wood.

*Anette Hjelm Petersen, Konservatör, Konservasyon Araştırmaları, Bina ve Eski Eser Konservasyonu, Danimarka Ulusal Müzesi

* Anette Hjelm Petersen, Conservator, Candidata Scientiarum, Buildings and Artefacts Conservation, National Museum of Denmark

**Kristiane Strætkvern, Konservatör, Konservasyon Araştırmaları, Koleksiyon ve Konservasyon (MS), Danimarka Ulusal Müzesi.

**Kristiane Strætkvern, Conservator, Candidata Scientiarum, Cons. Research, Collections and Conservation National Museum of Denmark.

İKİ DANİMARKA GEMİSİ BULUNTUSU

Roskilde Fiyordu'nda beş Skuldelev gemisi 1950'lerin sonlarında araştırılarak 1960'ların başında çıkarıldığında, Danimarka'da suya doymuş ahşap konservasyonu geleneği 100 yaşındaydı; ancak bu defa bulunan örnekler önceki arkeolojik ahşap buluntulardan çok farklıydı ve böylesine olağanüstü bir buluntunun meydana çıkarılması Danimarka açısından bir ilkti. Gemilerin bütünlüğü % 15 ile % 80 arasında değişiyordu. Bu olağanüstü keşfin kapsamlı bir açıklaması Crumlin-Petersen, O. ve Olsen, O.'nun "*Skuldelev Ships I*", (2002) adlı eserinde mevcuttur. Gemilerin hiçbirisi %100 tam olmamakla birlikte, konservasyon bölümüne getirilen oldukça yüksek miktardaki ahşap; yeni konservasyon prosedürleri, yeni ekipman ve konservasyon laboratuvarının önemli ölçüde genişletilmesini gerektirmiştir. Børge Brorson Christensen ve Kirsten Jespersen, Skuldelev buluntuları nedeniyle bugün bildiğimiz şekliyle Danimarka Ulusal Müzesi'ndeki suya doymuş ahşap bölümünü kuran konservatörlerdir. Skuldelev gemileriyle yaptıkları araştırma ve çalışmalar hala Danimarka'daki gemi batıklarının korunmasında bir dönüm noktasıdır ve Brorson Christensen'in bu büyük girişimini anlatan "*The Conservation of Waterlogged Wood in the National Museum of Denmark*" (1970), (çn: Danimarka Ulusal Müzesi'nde Suya Doymuş Ahşap Konservasyonu) adlı kitabı, onlarca yıldır suya doymuş ahşap konusunda konservatörlerin başvurduğu önemli yayınlardan biridir.

Bundan yaklaşık 50 yıl sonra, 1997'de yeni bir batık gemi buluntusu grubu kazılmıştır. Roskilde gemileri, Roskilde'de Viking Gemileri Müzesi yeni bir liman inşa edilirken keşfedilmiştir. Bütünlüğü % 30 - % 60 oranında bozulmamış olan sekiz gemiden oluşan bu buluntular, zamanında Kuzey Avrupa'da keşfedilmiş olan en büyük buluntu grubunu oluşturmaktaydı. Roskilde gemilerinin konservasyonu, Skuldelev gemilerinden elde edilen deneyimler ve diğer büyük suya doymuş ahşap buluntularının konservasyon çalışmaları üzerine kurulmuştur. Adı geçen çalışmalar 1990 yılından 2000 yılına kadar olan on yıllık dönemde bu alandaki bilginin artışına ve tekniklerin ilerlemesine önyak olmuştur.

Her iki olguda da konservatörlerden beklenen suya doymuş ve yok olmakta olan arkeolojik gemi ahşaplarının bir yandan kalıcılığının sağlanması diğer yandan boyutlarının değişmeyeceğinin güvenceye alınması; böylece parçaların bir araya getirilmesiyle gemi kalıntısının orijinal haliyle yeniden oluşturulmasıydı.

TWO DANISH SHIP FINDS

When the five Skuldelev ships were investigated in the late 1950'ies and excavated from Roskilde Fjord in the early 1960'ies the tradition for conservation of waterlogged wood in Denmark was 100 years old but it was the first time such a spectacular find was revealed in Denmark, and very different from the previous finds of archaeological wood. The completeness of the ships differed from 15% to 80%. An extensive description of this remarkable discovery can be found in Crumlin-Petersen, O and Olsen, O. "*The Skuldelev Ships I*", (2002). Though none of the ships were 100% complete, the amount of wood brought to the conservation department called for new conservation procedures, new equipment and quite an expansion of the conservation laboratory. Børge Brorson Christensen and Kirsten Jespersen were the conservators who, because of the find of Skuldelev, founded the department of waterlogged wood as we know it today in the Danish National Museum. Their research and work with the Skuldelev ships still stand as a milestone in the conservation of shipwrecks in Denmark and for decades Brorson Christensen's book "*The Conservation of Waterlogged Wood in the National Museum of Denmark*" (1970), describing this huge undertaking was one of the key publications among waterlogged wood conservators.

In 1997, nearly 50 years later a new find of ships was excavated. The Roskilde ships were discovered when the Viking ships museum in Roskilde was creating a new museum harbour. Consisting of eight ships with a completeness differing from 30% to 60%, this find was at the time the largest ship discovery in Northern Europe. The conservation of the Roskilde ships builds upon the experiences from the Skuldelev ships along with other conservation work from other large finds of waterlogged wood, that has increased knowledge and techniques in the field, mainly in the decade from 1990 to 2000.

The demands to the conservators were in both cases to bring the waterlogged degraded archaeological ship timbers to a stable condition with as little dimension change as possible and to enable reassembly of the original wrecks.

BİLGİLER:**SKULDELEV GEMİLERİ**

Kazı: 1962

Adet: 5 gemi; ikisi savaş gemisi, ikisi yük gemisi ve bir balıkçı teknesi.

Tarihleme: MS 1025-1050

Ağaç cinsi: Meşe (*Quercus* sp.), çam (*Pinus sylvestris*) ve dişbudak ağacı (*Fraxinus* sp.)

Sergileme yeri: 1972'den beri Roskilde'deki Viking Gemileri Müzesi.

ROSKILDE GEMİLERİ

Kazı: 1996-97

Adet: 8 gemi; biri savaş gemisi ve yedisi yük gemisi. Tarihleme: MS 1030-1335.

Ağaç cinsi: Meşe (*Quercus* sp.) ve çam (*Pinus sylvestris*).Sergileme yeri: Bir gemi (*Roskilde 6*) gezici bir Viking sergisinde uluslararası olarak sergilenmiştir; Roskilde gemilerinden bazıları depodadır; diğerlerinin konservasyon süreci devam etmektedir.**FACTS:****SKULDELEV SHIPS**

Excavated: 1962

Amount: 5 ships, two war ships, two cargo ships and one fishing boat.

Dated: 1025-1050 AD.

Wood: oak (*Quercus* sp.), pine (*Pinus sylvestris*) and ash (*Fraxinus* sp.)

Exhibited: The Viking ships museum in Roskilde, since 1972.

ROSKILDE SHIPS

Excavated: 1996-97

Amount: 8 ships, one war ship and seven cargo ships.

Dated: 1030-1335 AD.

Wood: oak (*Quercus* sp.) and pine (*Pinus sylvestris*).Exhibited: one ship (*Roskilde 6*) is exhibited internationally in a travelling Viking exhibition, some of the Roskilde ships are in storage, and some are still undergoing conservation.**Fig. 1:** Yağmurlama sistemi kurulu halde kazı alanı, 1962. (Foto: Viking Gemi Müzesi-Roskilde)**Fig. 1:** The excavation site in 1962 with the sprinkling system established. (Photo: The Viking Ship Museum in Roskilde)

KAZI

Kazılarda yaklaşım iki buluntu için farklıydı; Skuldelev alanı, yıllarca araştırıldığından çok iyi planlanan (ve muhtemelen daha pahalı) bir kazı olanağı sağlamıştı. Fiyortta bulunan batıklar etrafında palpaş perdeleri oluşturularak (editör: su tutmalık) deniz suyu ortamdan uzaklaştırılmış, böylece bir anlamda “sulak alan kazısı” gerçekleştirilmiştir. Kazı tam olarak bitirilinceye kadar ahşapların kurumamasını sağlamak için de bir su püskürtme sistemi oluşturulmuştur (Fig. 1). Eser tanımlamaları objeye metal bir çivi ile sabitlenen plastik sayılarla yapılmıştır. Gemiler parçalara ayrılmış ve bu parçaların dağılmadan ıslak kalmasını sağlayan büyük plastik tanklara yerleştirilmiştir. Her parça, nakliye için ahşap sedyelerle desteklenerek, Kopenhag’ın kuzeyinde yer alan Brede’deki Ulusal Müze’nin yeni donatılan Konservasyon Departmanı’na getirilmiştir. Kazı dört ayda tamamlanmıştır.

Roskilde gemilerinin kazısına başlandığında sekiz batık bulunacağı bilinmiyordu. Gemilerden yedisi karada, biri de su altında arkeologlar ve konservatörler tarafından kazılmıştır. Karada ahşapların ıslak kalabilmesi için bir sulama sistemi oluşturulmuştur. Etiketleme, üzerine her parçanın kurşun kalemle numarasının yazıldığı paslanmaz çelik bir çiviyile objelere sabitlenen plastik etiketlerle yapılmıştır. Bu “anlamsız bir ayrıntı” gibi gelebilir; ancak paslanmaz çelikten çivi kullanmak ve kurşun kalemle yazmak oldukça etkin bir yöntemdir ve uzun vadede, konservasyon çalışması boyunca birkaç yıl yok olmadan kalabilir.

Skuldelev buluntusunda tam olarak uygulanan, gemilerin kazı alanında tamamen sökülmesi yönteminin; dokümantasyonun yönetilmesi, geminin yapısının ve yapım tekniklerinin daha iyi anlaşılmasının sağlanması, geminin rekonstrüksiyonu, elle taşıma ve kaldırma (Fig. 2) ve konservasyon süreçleri gibi çeşitli nedenlerle daha avantajlı olduğu kanıtlanmıştır.

EXCAVATION

The approach to the campaign was different for the two finds; the Skuldelev site had been investigated for years allowing a very thoroughly planned (and probably costlier) excavation of the site. A sheet piling was placed around the shipwrecks in the fjord and the water pumped away from the area to carry out a “wet land” excavation. A water sprinkler system was established to keep the timber wet until fully excavated (Fig. 1). The labelling to identify the objects was done with numbers cast in plastic, fastened to the object with a metal nail. The ships were taken apart and each piece was placed in large plastic tubes where they were kept moist and held together. Each piece was supported by wooden stretchers for transport, and brought to the newly equipped National Museum department of Conservation in Brede north of Copenhagen. In 4 months the excavation was completed.

When the excavation of the first Roskilde ships started no one knew that eight shipwrecks were to be found. Seven ships were excavated on land. One ship was excavated under water by diving archaeologists and conservators. A water system was established in the excavations on land to keep the timber wet. The labelling was done with plastic labels, fastened to the object with a stainless steel nail, on which the number of each part was written with a pencil. This might seem a “silly detail” but applying stainless steel nails and writing with a pencil is efficient and remains stable on the long term through several years of conservation treatments.

The methodology of full dismantling of the ships *in situ*, practised fully for the Skuldelev find has proven advantageous for several reasons such as; managing the documentation and providing a better understanding of the ship structure and building techniques, for reconstruction purposes, for manual handling and lifting (Fig. 2) and for the conservation process.



Fig. 2: Viking gemisi Roskilde 6’nın omurgası kaldırılırken, 1997. (Foto: Viking Gemi Müzesi-Roskilde)

Fig. 2: The lifting of the keel from the Roskilde 6 Viking ship in 1997. (Photo: The Viking Ship Museum in Roskilde)

SKULDELEV-SKIBENE HORNS HERRED FREDERIKSBORG AMT		Vrag!	GENSTAND: Bitekne	REG. NR: P 4
			MATERIALE: <i>Sg Fys.</i>	
PLACERING: <i>5FB</i>			ANTAL STK :	
SKITSE: <i>Negativ H31</i>			SAMMENHØRENDE MED:	
			OPTAGET: <i>17/9 - 62</i>	
1:			OPMÅLT: <i>13-12-63. kg</i>	
KONSERVING:			PÅBEGYNDT: <i>7/11-67. 12/8-66</i>	
AFSLUTTET: <i>25/9-68 (se bemærk)</i>			METODE: <i>Kold glycerolbehandling</i>	
BEMÆRKN:			<i>Slytekel optaget 25/9-68 af overblik og i overblik med en kold 60% glycerolopløsning. vnd!</i>	
MAGASINERING:				
SIGN: <i>46.</i>				

Fig. 3: Skuldelev gemilerinin her bir parçası için veriler elle kartlara işlenirken, Roskilde gemilerinin tüm verileri bilgisayarda depolanmıştır. (Foto: Viking Gemi Müzesi-Roskilde)

Fig. 3: The recording of data of every single piece of the Skuldelev ships were done by hand on a card, whereas all data from the Roskilde ships are stored on the computer. (Photo: The Viking Ship Museum in Roskilde)

Roskilde gemileri de kazı alanında sökülmüş, parçalar kumaş ve plastik folyolara sarılarak bir arada tutulmuş, ahşap sedyelerle desteklenmiş, kazı alanının yanında su tanklarına yerleştirilerek temizlik ve dokümantasyona kadar güvenli bir şekilde ıslak tutulmuştur. Belgeleme, müze adasında arkeolojik kazılara yakın bir yerde kurulmuş olan yeni bir atölyede gerçekleşmiştir. Kazılar 10 ay içerisinde tamamlanmıştır. Gemilerin keşfedilmesi beklenmediği için elde uzun dönemli bir strateji olmadığı gibi finansal bir plan da mevcut değildi. Uzun vadeli çözümler oluşturuluncaya kadar bozulan ahşaplar birkaç kez geçici depolara taşınarak bekletilmiştir.

IN SITU DOKÜMANTASYON

Skuldelev gemilerinin belgeleme işlemlerinin tamamı *in situ* fotogrammetrik olarak yapılmıştır. Kazı alanının kâğıda çizimleri yerine, gemilerin tüm parçaları ayrıntılı bir şekilde fotoğraflanmıştır. Bu belgeleme işlemi gemilerin planlarının ve bölümlerinin kazıdan sonra çok doğru bir şekilde çizilmesini sağlamıştır. 1962'de kazıdan depolamaya kadar olan süreçte; kazıdaki konum, eser ve parçaların tanımı, ağaç türleri, konservasyon işlemi ve saklama yeri gibi bilinen tüm veriler elle, fotoğraf ve eskiz içeren bir karta kaydedilmiştir (Fig. 3).

The Roskilde ships were also dismantled in the field, pieces were held together with textile and plastic foil bandages, supported by wooden stretchers and placed in water tanks beside the excavation and kept securely wet until cleaning and documentation. The documentation took place in a new workshop established on the museum island, close to the archaeological excavation. In 10 months the excavations were completed. As the shipwrecks came as a surprise, there was no long term preservation strategy at hand, nor was there a financial plan. Until long term solutions were established, several temporary storages were used involving numerous moves of the degraded timbers.

DOCUMENTATION IN SITU

All the Skuldelev ships were documented photogrammetrically *in situ*. Instead of paper drawings of the site each element of the ships was photographed in detail. This documentation enabled a very accurate plotting of the plans and sections of the ships after the excavation. In 1962 all known data from excavation to storage were recorded by hand, on a card with photographs and sketches: position in excavation, description of element and fragments, species of wood, conservation treatment and place of storage (Fig. 3).

Kazısı su altında yapılan Roskilde gemisi tam donanımlı bir uçbirim yoluyla dijital olarak, karada kazılan gemiler ise yerinde klasik el çizimi ile belgelenmiştir. 1996 yılında, gemilerin ve münferit parçalarının tüm belgelerinin bir arada tutulduğu bir veri tabanı tasarlanmıştır.

EX SITU DOKÜMANTASYON

Skuldelev gemilerinin yüzlerce parçası konservasyon departmanına getirildiğinde ahşap parçalar su ve yumuşak fırçalar kullanılarak temizlenmiştir. Gemilere ait ahşapların tamamı 1:1 ölçeğinde belgelenmiştir. Çizimler, ahşapların üzerlerine cam plakalar yerleştirildikten sonra, renk kodları dikkate alınarak, mum (pastel) boya kalemleri kullanılarak şeffaf polyester folyolar üstüne yapılmıştır (Fig. 4). Folyonun yansıtıcı yüzeyi; eserin özelliği, kalemin ucu ve çizimcinin gözünden yansıyan imge birleştiğinde, belirginleşen projeksiyonun cam levhaya dik olduğunu gösterir. Özellikle borda kaplamalarında yöntemin hassasiyeti birkaç milimetre dâhilindedir. Gemi iskeletini oluşturan ahşapların eğimlerine uyacak birkaç kesit daha eklenmiştir. 1962’de orijinal kenarlar siyah çizgilerle, borda kaplamalarının iç tarafındaki kırıklar ise kırmızı çizgilerle belirtilmişti. Borda kaplama ve folyo ters çevrilerek diğer tarafın özellikleri çizimde sarı ile işaretlenmiştir. 1997 yılında

Roskilde gemilerinin

dokümantasyonuna başlarken kullanılan teknik hala aynıydı; ancak mum boya kalemlerinin yerini

su geçirmez keçe uçlu asetat kalemleri almıştı, renk kodlarıysa değiştirilmişti. Orijinal kenarlar hala siyahtı ancak dış kenar bir geniş çizgi, iç kenar ise ince bir çizgiyle işaretleniyordu. Borda kaplamanın içindeki kırıklar yeşil renkle işaretlenmişti. Borda kaplama ve folyo ters çevrildiğinde diğer taraftaki ilgi çekici özellikler çizim üzerinde kesik çizgi ile işaretlenmişti.

One of the Roskilde ships, the ship excavated under water, was digitally documented using a total station whereas the ships excavated on land were documented by traditional hand drawing in situ. In 1996 a database was designed to hold the full documentation of the ships and their individual parts.

DOCUMENTATION EX SITU

When the hundreds of pieces from the Skuldelev ships had been brought to the conservation department, the wood was cleaned, using water and soft brushes. The individual timbers of the ships were documented in scale 1:1. The drawings were made with colour codes, with crayon pens, on transparent

polyester foil supported on a glass-plate over the timber (Fig. 4). The reflecting surface of the folio indicated when the feature of the object, tip of the pencil and the mirrored image of the eye of the draftsman were merging, showing that the projection was perpendicular to the glass-plate. The precision of the method is within a few millimetres, especially for the planks. For the frame timbers more cross sections were added to make up for the curviness of the element. In 1962 the original edges were indicated with black lines and fractures on the inside of the plank with red lines. The plank and the folio were turned and features of the other side were marked in yellow on the drawing.

When starting up the documentation of the Roskilde ships in 1997, the technique was still the same but the

crayon pens had been replaced by water proof felt tip pens and the colour codes had changed: the original edges still in black but the outer edge was a broad line, the inner a thin line. Fractures on the inside of the plank were marked in green. When the plank and the folio were turned the features of interest on the other side were marked by a stitched line on the drawing.



Fig. 4: Skuldelev gemilerinin dokümantasyonu. Eğrilerin 1:1 ölçeğinde çizimi polyester folyo üzerine renkli kalemlerle yapılmıştır. (Foto: Viking Gemi Müzesi-Roskilde)

Fig. 4: Documentation of the Skuldelev ships. The 1:1 drawing of a frame timber is made using crayons on polyester foil. (Photo: The Viking Ship Museum in Roskilde)

Birebir (1:1) çizim 1990'ların sonlarında Roskilde gemilerinin belgelenmesi sırasında gelişerek dijital hale geldi. 3B (üç boyutlu) program olan *Rhino* ile bilgisayara bağlı *FaroArm* kullanılmaya başlandı. Üç gemi neredeyse tamamen 3B olarak belgelenmiştir (Fig. 5). Hassasiyet milimetrik düzeydedir ve ahşabın şekli ve biçimi ne olursa olsun ölçmek mümkündür. Çizimler 3B'dir; ancak rekonstrüskiyonda kullanmak için yazdırılabilir. Bununla birlikte, 3B kullanılan rekonstrüksiyon çalışmaları devam etmektedir. Her bir eleman, başlangıçta analog daha sonra dijital olarak fotoğraflanmıştır.

Roskilde gemilerinin belgelendiği yıllarda bilgisayar, arkeoloji ve konservasyonun ayrılmaz bir parçası olmuştur; in situ belgelemeden her bir ögenin çizilmesine ve açıklanmasına kadar çoğu bilgi artık dijital ortamda yer almaktadır. Her iki şekilde de tam ölçekli dokümantasyonun, analizin ve gemilerin yeniden inşasının önemli bir parçası olduğu kanıtlanmıştır.

1 JENSEN vd. 2002a



Fig. 5: Roskilde gemilerinin *FaroArm* cihazı ve 3D *Rhino* yazılımı kullanılarak dokümantasyonu. (Foto: Viking Gemi Müzesi-Roskilde)

Fig. 5: Documentation of the Roskilde ships, using a *FaroArm* and the 3D computer program *Rhino*. (Photo: The Viking Ship Museum in Roskilde)

KONSERVASYON DURUMUNUN DEĞERLENDİRİLMESİ

Skuldelev gemilerinin ahşapları için en uygun konservasyon yöntemlerinin araştırılması sırasında Brorson Christensen, bozulma düzeyi ve örüntüsünün konservasyonun başarısını büyük ölçüde etkilediğini saptamıştır. Böylece, suya doymuş arkeolojik ahşabın bozunma örüntüsüne göre bir sınıflandırma sistemi geliştirilmiştir (Fig. 6). Sistem, ahşapların konservasyon yönteminin seçiminde uygulanmıştır. Ahşap türlerini ve hücresel düzeyde bozunmayı belirlemek için ışık mikroskobu kullanılmıştır. Makroskopik seviyede yoğunluğu ve su içeriğini belirlemek için ıslak ağırlık, fırında kurutulduktan sonraki ağırlık ve küçük örneklerin hacimleri kullanılmıştır. Kaburga ve borda kaplamaları, iç omurga vs. temel olarak meşeden (*Quercus sp.*) ve az miktarda da çamdan (*Pinus sylvestris*) yapılmıştır. Konservasyon uygulanarak iyileştirme yapılmasaydı bu ahşap nesnelerin çoğunluğu çökmeden, büzüşmeden ve yüzey çatlamlarından dolayı zarar görecekti.¹

The 1:1 drawing progressed and became digital during the documentation of the Roskilde ships in the late 1990'ies. A *FaroArm* connected to a pc with a 3D programme, *Rhino*, was introduced. Three ships were almost completely documented in 3D (Fig. 5). The precision is within very few millimetres and it is possible to measure the wood whatever shape or form it has. The drawings are in 3D, but can be printed to be used for reconstruction. The reconstruction in 3D, however, is still being worked on. Every single element was photographed, in the beginning as analogue photos later as digital images.

The computer became an integrated part of archaeology and conservation in the years where the Roskilde ships were documented and most information are now digital, from the documentation made *in situ* to the drawing and description of each element. Either way the full-scale documentation proved to be an important part of the analysis and for making the reconstruction of the ships.

ASSESSMENTS OF THE STATE OF PRESERVATION

During his research to find the most appropriate conservation methods for the timbers from the Skuldelev ships, Brorson Christensen discovered that the degree and pattern of degradation heavily influenced the success of the conservation treatment. Thus, a classification system for waterlogged archaeological wood in relation to its degradation pattern was developed (Fig. 6). The system was used for selection of conservation treatment for the timbers. Light microscopy was used to determine the wood species and the degradation at a cellular level. The wet weight, oven-dry weight and volume of small samples were used to determine the density and water-content at a macroscopic level. The frames and planks, keelsons etc. were mainly made of oak (*Quercus sp.*) and smaller amounts of pine (*Pinus sylvestris*). Without treatment, most of these wooden objects would suffer from collapse, shrinkage and surface checks if not conserved properly.¹

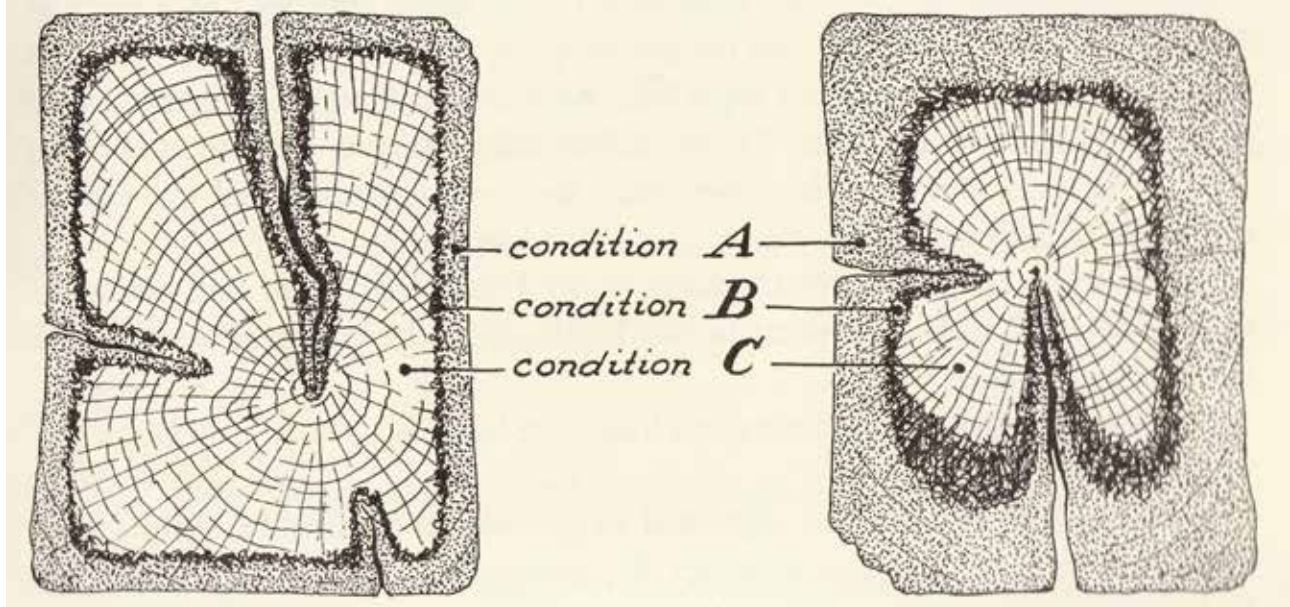


Fig. 6: Bozunma derecesinin karakterizasyonu; A durumu: “çok bozunmuş ahşap”, yüzeyde veya iç kısımda bulunmuş, B durumu: (genellikle sınırlı bir bölge) “yarı bozunmuş” ve C durumu: ahşabın merkezinde/ortasındadır, ahşap daha yoğundur ve durumu “iyidir”. (Foto: Brorson-Christensen, B. (1970): The Conservation of Waterlogged Wood in the National Museum of Denmark. The National Museum of Denmark, Copenhagen)

Fig. 6: Principle for characterisation of degree of degradation; Condition A: ‘very degraded wood’, found from the surface and inwards, Condition B: (often a limited area) is ‘semi-degraded’ and Condition C: is in the center/core of the wood, the wood is denser and the condition ‘good’. (Photo from Brorson-Christensen, B. (1970): The Conservation of Waterlogged Wood in the National Museum of Denmark. The National Museum of Denmark, Copenhagen)

Brorson Christensen’in ahşap koşulları hakkındaki bilimsel analizlerini başlatmasından bu yana konservasyon biliminin bu kısmı önemli ölçüde gelişmiştir.² Roskilde 6 gemileri konservasyon laboratuvarına getirildiğinde, Brorson Christensen’in su içeriğini ve ahşap yoğunluğunu tahmin etme yöntemleri uygulanmış ve hücre duvarı yoğunlukları, gözeneklilikleri ve yayınlılık hakkında bilgi verilmiştir. Dolaylı, tahribatsız yöntemler, yani ahşaptaki difüzyon katsayılarını tahmin etmek için elektriksel iletkenlik ve inorganik maddelerin (tuzlar, demir vb.) içeriğini analiz etmek gibi diğer analiz türleri araştırılmıştır. Bu analizler, malzemenin kontrolsüz kuruması üzerine büzülme ve çökme eğilimi hakkında bilgi sağlar; emprenye maddesi ve kurutma yönteminin seçiminde belirleyicidir. Sonuçlar ahşabın emdirme ve kontrollü kurutma süresini, dolayısıyla toplam konservasyon maliyetlerini tahmin etmede kullanılır.³ İnorganik maddelerin içeriği hakkında bilgi, konservasyon işleminin tuzlar veya metalleri uzaklaştırmak veya azaltmak için işlemler içermesi gerekip gerekmediğini gösterebilir, ayrıca konservasyonu yapılmış ahşabın gelecekteki depolama veya sergi ortamı hakkında tavsiyelerde bulunurken de önemlidir.

Since Brorson Christensen initiated his scientific analyses of the wood conditions, this part of the conservation science has developed considerably.² When the Roskilde 6 ships were brought to the conservation laboratory, Brorson Christensen’s methods for estimating water content and wood density had been implemented and were supplied with information about cell wall densities, porosities and diffusivities. Other types of analyses were investigated, such as indirect, non-destructive methods i.e. electrical conductance to estimate diffusion coefficients in the wood and analysing the content of inorganic substances (salts, iron etc.). These analyses provide information about the material’s tendency to shrink and collapse upon uncontrolled drying and are decisive for selection of the impregnation agent and drying method. The results are used for estimating the duration of impregnation and controlled drying of the wood and thus the overall conservation costs.³ Information about the content of inorganic substances can indicate whether the conservation treatment must include processes to remove or reduce the amount of salts or metals and is also important when giving advice on the future storage or exhibition environment for the conserved wood.

² JENSEN ve GREGORY 2006, GREGORY vd. 2007

³ JENSEN ve GREGORY 2006.

² JENSEN and GREGORY 2006, GREGORY et al,2007.

³ JENSEN and GREGORY 2006.

Suyadoymuş arkeolojik ahşabın, özellikle gemi batıkları gibi büyük yapıların korunması çok kapsamlı kaynak gerektirir; bozunmanın derecesini değerlendirmek ve ahşabın yanı sıra gömüldüğü ortamdaki bozunma sürecinin anlaşılması karar verme süreci açısından çok önemlidir.⁴ Roskilde 6 buluntusuyla birlikte zamanında karar vermek için gerekli araçlara sahip olmanın önemi ortaya çıkmıştır. Suyu doymuş büyük arkeolojik gemi batıkları ile uğraşırken, buluntunun ve gömülü olduğu ortamın değerlendirilmesi, karar alma sürecindeki prosedürlerin bir parçası olmalıdır. Günümüzde bu sahada, hem karada hem de sualtı ortamında gerçekleştirilebilmektedir. Sahada, su altındaki ve karasal kazı alanlarındaki ahşapların yoğunluklarının belirlenmesi için bir ahşap yoğunluğu ölçeği geliştirilmiştir.⁵ Ayrıca, hem sahada hem de laboratuvarında, ahşaptan yukarıda belirtilen analiz türlerinde kullanılmak üzere en fazla 15 cm'lik küçük karot numunelerini almak için çeşitli tiplerde artım burguları kullanılır. Yoğunluğun belirlenmesine ek olarak, ahşabın tanımlanması için ışık mikroskopisi, taramalı elektron mikroskopisi ve çok çeşitli kimyasal analizler gibi gelişmiş teknikler uygulanabilmektedir.

EMDİRME VE KURUTMA METOTLARI

Skuldelev'in kazılan ilk ahşapları, 1959-60 yıllarında suya doymuş ahşap için döneminde en yaygın emdirme maddesi olan şap ile işlem görmüştür. Polietilen glikol (PEG), suya doymuş ahşap konservasyonunda ilk kez Stockholm'de Vasa'nın emdirme işlemi sırasında kullanılmaya başlanmıştır. Polietilen glikol, farklı moleküler ağırlık ve viskozitelerde bulunabilen, suda çözünen sentetik bir mumdur. Düşük derecelerde (200 ila 600) sıvı halde iken, yüksek derecelerde (1000 ila 6000) kıvamı yumuşak mumdaki sert muma dönüşür. Daha yüksek moleküler ağırlıklarda, ergime noktası artar, PEG daha az su alabilir hale gelir.

Brorson Christensen, PEG'nin olası kullanımı hakkındaki araştırmalarına Vasa'yı göz önünde bulundurarak ve İsveçli meslektaşlarına danıştıktan sonra başlamıştır. Kütale halinde çıkartılan Vasa'ya su ile seyreltilmiş PEG çözeltisi püskürtülmekteydi; ancak Brorson Christensen Skuldelev gemilerinin parça bazında demonte edilerek kaldırılmasından dolayı ahşapları emdirme banyolarına batırmaya karar vermiştir. Ayrıca, gemilerin parçaları halinde demonte edilmiş olması avantajına sahipti ve elle taşınabilir ve amaca uygun imal edilmiş tanklara sığdırılabilirdi.

Conservation of waterlogged archaeological wood, in particular large structures such as shipwrecks, is very resource demanding and assessing the degree of degradation and understanding the degradation process in the wood as well as in the burial environment is crucial for the decision making process.⁴ The Roskilde 6 find actualised the importance of having tools for timely decision making. When dealing with large waterlogged archaeological shipwrecks, assessment of the find as well as its burial environment should be part of the procedures in the decision making process and today this can be conducted already on the site; on land and under water. A wood density profiler has been developed to use for proxy determination of wood density in the field both under water and at terrestrial sites.⁵ Also various types of increment borers are used both in the field as well as in the laboratory for taking small core samples up to 15 cm into the wood for the above mentioned types of analyses. In addition to the determination of density advanced techniques like light microscopy, scanning electron microscopy and a wide range of chemical analyses can be applied in the characterization of wood.

THE IMPREGNATION AND DRYING METHODS

The very first excavated timbers from Skuldelev were treated with alum, still being the common, most used impregnation agent for waterlogged wood in 1959-60. The use of Polyethylene glycol (PEG) had just been introduced in waterlogged wood conservation with the impregnation of the Vasa in Stockholm. Polyethylene glycol is a water soluble, synthetic wax available in different molecular weight and viscosities. The lower grades (from 200 to 600) are liquid, the higher grades (from 1000 to 6000) go from soft waxy to hard waxy in consistence. With higher molecular weights, the melting point increases and the PEG becomes less able to take up water.

With Vasa in mind and after consulting the Swedish colleagues, Brorson Christensen started his investigations on the possible use of PEG. Where the Vasa (being in one assembled large ship structure) was sprayed with a solution of PEG in water, Brorson Christensen decided because of the very fragmented state of the Skuldelev ships, to submerge the wood in impregnation baths. He also had the advantage of the ships being dismantled into pieces in dimensions that could be handled manually and fit into purpose made tanks.

4 GREGORY vd. 2007, GREGORY vd. 2012.

5 JENSEN vd. 2017

4 GREGORY et al. 2007, GREGORY et al. 2012

5 JENSEN et al. 2017).

İlk işlemler 60°C sıcaklıkta su içinde % 10 (w/w) PEG 4000 olan tanklarda gerçekleştirilmiş (Fig. 7); emdirmeye % 95 (w/w) olana kadar kademeli olarak % 15 (w/w) artırılmıştır. Bu işlem küçük yumuşak ahşap parçaları üzerinde başarılı olurken, iyi korunmuş meşe ahşaplarının üzerinde deformasyonlar gözlenmiştir. Bu deneyimlere dayanarak soğuk PEG çözeltileri ile emdirmeyi % 25'ten % 50'ye (w/w) çıkarmaya başlanmış; emdirmeye işlemi 7 ila 24 ay sürmüştür. Ahşabın çoğu, bozunma modeline bağlı olarak iki şekilde işlem görmüştür:

1. Daha fazla bozunmuş, çökme eğilimi gösteren objelerde yöntem 60°C'de % 95 (w/w) ile tam emdirmeydi. Bu yöntem, emdirilen eserin sıcaklığının 20°C'ye düşürüldüğünde etki gösterir; bu sıcaklıkta katı PEG çöker ve ahşabın yapısını destekler. PEG'in % 5 (w/w) gibi küçük bir kısmı kalan % 5 (w/w) suyun içinde sıvı olarak kalır. Bu çözeltinin PEG'i, hava ile kurutma sırasında suyun buharlaştırılması ile üzerine çöker.
2. Daha az bozunmuş eserlerde, ilk ve öndeki eğriler ve iç omurga gibi kalın parçalar için kullanılan yöntem, 20°C'de % 50 (w/w) kısmi emdirmeye işlemidir. Katı PEG, suyun havayla kurutmayla çıkarılması üzerine ilk olarak çökeldiğinden, yöntem çökmeyi sadece küçük bir dereceye kadar önler.

The first processes were carried out in tanks with 10 % (w/w) PEG 4000 in water at 60°C (Fig. 7), impregnation increased stepwise by 15 % (w/w) until 95 % (w/w) was reached. This treatment was successful on small pieces of soft timbers, whereas deformations were observed on the well preserved oak timbers. Based upon these experiences, impregnation with cold PEG solutions increasing from 25 to 50 % (w/w) was introduced. The impregnation lasted from 7 to 24 months

Most of the wood was, depending on the degradation pattern, treated in two ways:

1. The method used for the more degraded objects, with a tendency to collapse was full impregnation, 95 % (w/w) at 60°C. This method works by lowering the temperature of the impregnated object to 20°C, where upon solid PEG precipitates and supports the structure of the wood. A minor part 5 % (w/w) of the PEG stays liquid in the remaining 5 % of the water. The PEG of this solution precipitates upon evaporation of the water during air-drying.
2. The method used for lesser degraded objects, first and foremost frames and thick parts like the keelson, was a partial impregnation, 50% (w/w) at 20°C. As the solid PEG first precipitates upon removal of the water by air-drying, the method only prevents collapse to a minor degree.



Fig. 7: Skuldelev gemilerinden birindeki kaburgalardan biri emdirmeye tankına yerleştiriliyor. Kırk yıl sonra Roskilde gemileri de aynı ortamlarda emdirilirken, emdirmeye sırasında artık ısıtıcı kullanılmadığından orijinal tanklardan bazıları değiştirildi (fotoğraf: Roskilde'de bulunan Viking Gemisi Müzesi).

Fig. 7: A frame from one of the Skuldelev ships is placed in the impregnation tank. 40 years later the Roskilde ships are impregnated in the same surroundings, some of the original tanks are changed since the heating of the impregnation is not used nowadays. (Photo: The Viking Ship Museum in Roskilde)

Hava kurutma süresi objelerin kalınlığına bağlıydı ve birkaç ay ile yarım yıldan fazla bir zaman aralığında gerçekleştirilmiştir. İşlem uygulanan objeler koyu, ağır, sert ve kırılgandı, sonrasında fazladan oluşan beyaz PEG tabakalarının yüzeylerden giderilmesi çok fazla işlem gerektirdi.⁶

Olağandışı büyük parçaların bazılarının aldatıcı olduğu düşünüldü; bu parçalar iç omurganın iki ucu, bölme duvarı ve birkaç eğriden oluşuyordu; boyutları ve durumları nedeniyle bir kenara bırakılmışlardı. 1970'lerin başında, Brorson Christensen bunları 1950'lerin başından beri denediği TBA / PEG konservasyon yöntemiyle işleminden geçirdi. Ahşaptaki suyun yerini yavaşça su ve PEG ile karışabilen tersiyer bütanol (TBA) olarak tanımlanan bir alkol aldı. Bu alkol 25.6 °C'de katılaştıran, 82.4 °C'de kaynayan ve molekül ağırlığı 74 olan bir maddedir. Molekül ahşabın hücre yapısına nüfuz eder ve su molekülünün (donma ve kristalleşme sırasında hacmini önemli ölçüde artırır) aksine, TBA molekülü faz değişiklikleri sırasında değişmeden kalır. TBA'da dehidrasyondan sonra emdirme banyosu, TBA içinde % 40 (w/w) PEG 4000 çözeltisine dönüştürülür ve sıcaklık 54 °C'de sabit tutulur. Son emdirme banyosu % 66 (w/w) PEG / TBA çözeltisidir. Emdirme sonrasında ahşap banyodan çıkarılarak plastikte sarılır ve PEG sıfırın birkaç derece üzerinde katılaştır. PEG katılaştıktan sonra paketinden çıkarılarak vakum haznesine yerleştirilir. TBA molekülleri, katı kristal yapıdan gaz fazına doğrudan bir değişiklik olan süblimasyon yoluyla yapıdan çıkarılır. Birleştirici PEG ahşap yapıda kalır. Süreç çok zekice hazırlanmıştır, çünkü bozunmaya yüz tutan, suya doymuş arkeolojik ahşapla uğraşırken ana zorluklardan birini önleyecek şekilde tasarlanmıştır; bu zorluk, zayıf hücre duvarlarına sahip bozulmuş ahşap hücre lümeninden buharlaşan sıvı su nedeniyle ahşap hücre çökmesi olarak tanımlanabilir. Suyun yüzey gerilimi yüksektir ve zayıf bir hücreden kontrolsüz bir şekilde buharlaşma olmasıyla birlikte, hücre duvarları hücreleri geri dönüşü olmayan bir düzleşmeye zorlar; buna çöküş denir. Brorson Christensen'in yöntemi zarifti ve güzel sonuçlar vermiştir. Ne yazık ki, birkaç kez sıvı değişimi yapmak için büyük depolama tanklarına ihtiyaç duyulmuştur ve işlem uzun zaman almıştır. Ayrıca, TBA hem oldukça yanıcı hem de sağlığa zararlıdır, büyük ölçekli suya doymuş ahşap konservasyon projelerinde güvenli bir alternatif olarak düşünülemez.

The air-drying period depended on the thickness of the objects and lasted from a few months to more than half a year. The treated objects were dark, heavy, inflexible and brittle and required a lot of post treatment removing the white layers of excess PEG from the surfaces.⁶

Some of the extraordinary large pieces were considered to be tricky; these included two keelson ends, bulkhead and some frames and had been set aside because of their size and state. In the beginning of the 1970's, Brorson Christensen treated these with a conservation method he had been experimenting with since the beginning of the 1950's; the TBA/PEG method. The water in the wood was slowly replaced with an alcohol; tertiary butanol (TBA) which is miscible with water and PEG. It solidifies at 25.6°C, boils at 82.4°C and has a molecular weight of 74. The molecule penetrates the cell structure of the wood, and unlike the water molecule (which increases its volume considerably during freezing and crystallisation), the TBA molecule remains unchanged during phase changes. After dehydration in TBA the impregnation bath is changed to a solution of 40 % (w/w) PEG 4000 in TBA, and the temperature is kept to 54°C. The final impregnation bath is a 66 % (w/w) solution of PEG/TBA. After impregnation the wood is removed from the bath, wrapped in plastic and the PEG solidifies at a few degrees above zero. Once the PEG has solidified they are unpacked and placed in a vacuum chamber. The TBA molecules is removed from the substance via 'sublimation', a direct change from the solid crystal structure to a gaseous phase. The consolidating PEG remains in the wood structure. The process is very intelligent, as it is designed to prevent one of the main challenges when dealing with degraded waterlogged archaeological wood; that the wood cell collapses because of liquid water evaporating from the degraded wood cell lumen with weak cell walls. The surface tension of water is high, and its uncontrolled evaporation from a weak cell forces the cell walls together in an irreversible flattening of the cells; collapse. Brorson Christensen's method was elegant and produced beautiful results. Unfortunately, the several exchanges of the liquids required large storage tanks and took a long time to process. Moreover, the TBA is both highly flammable and health hazardous and could not be considered a safe alternative for large waterlogged wood conservation projects.

Roskilde gemileri konservasyona hazır duruma gelinceye kadar, PEG'in özellikleri biliniyordu ve vakumlu dondurarak kurutma yoluyla suyun süblimleşmesi, suya doymuş ahşap konservasyonunda kullanılmak üzere yaygın olarak uygulandı. Su içinde en sık kullanılan PEG'lerin donma özellikleri ayrıntılı olarak analiz edilmiştir.⁷ 1997 yılına kadar PEG 4000 gibi yüksek moleküler kütleli moleküler boyutunun ahşabın hücre duvarına giremeyecek kadar büyük olduğu bilimsel olarak kanıtlanmıştır.⁸ Aynı zamanda oda sıcaklığında katı bir emdirme maddesi olan PEG 2000, hücre lümenine ve bir dereceye kadar hücre duvarına nüfuz edebilir. PEG'in boyutlara ve degradasyon derecesine göre suya doymuş ahşaba difüzyonu için modeller geliştirilmiştir.⁹ (PEG 2000'in diğer önemli özellikleri, vakumlu dondurarak kurutma işlemi sırasında ve sonrasında stabilize edici bir ajan olarak hareket etmesi ve bir kriyoprotektan (çn: donma etkisinden koruyan) olarak çalışmasıdır; dondurma işleminde buz kristallerinin genişlemesini azaltır. Bu sonuçlara dayanarak PEG 2000, Roskilde gemilerinin emdirme maddesi olarak seçilmiştir.¹⁰

Roskilde gemilerinde uygulanan konsantrasyon ve işlemler - büyük ölçüde laboratuvarımızda halen uygulanmakta olan prosedürler % 10'dan (w/w) başlayarak ahşabın oda sıcaklığında PEG 2000'li sulara batırılmasını ve ahşabın boyutlarına ve bozulma derecesine bağlı olarak en az 3 yıl boyunca % 40'a (w/w) artırılmasını içeriyordu. PEG emdirme işleminden sonra, malzemede kalan su vakumlu dondurma-kurutma ile uzaklaştırılır ve parçalar tanklardan çıkarılarak ve dondurma-kurutma odasına getirilir (Fig. 8). Roskilde 6 gemisi gibi sergilenmek üzere konservasyon uygulanan gemi batıkları şekline göre dondurularak kurutulur. PEG emdirilmiş objeler doğru şekli elde etmek için kalıplara yerleştirilir (Fig. 9).¹¹ Gemi parçalarını şekillendiren ve sabitleyen kalıplar, vakumlu dondurucu kurutma makinesine yerleştirilir ve PEG ve suyun tamamen sert ve kristalleşmiş olduğu sıcaklıklara (en az -25°C) kadar dondurulur. Buz ve katı PEG'den oluşan donmuş yapı ahşabı destekler. Vakum uygulandığında (0,01 mbar) matristeki buz kristalleri katı fazdan gaz fazına (süblimasyon) dönüşür ve ahşaptan ve dondurarak kurutma bölgesinden harici buz tuzaklarına çıkarılır. Objelerin boyutlarına bağlı olarak, vakumlu dondurma kurutma işlemi 4 ila 6 ay arasında sürer. İşlem uygulanan objeler hafif renk ve ağırlıktadır; daha sonra yapılacak olan montaj ve gemi montajı için doğru şekle sahiptir. Günümüzdeki vakumlu dondurarak kurutma yöntemi, Brorson Christensen'in süblimleşme yoluyla suya doymuş PEG emdirilmiş ahşaptan sıvıları uzaklaştırma fikriyle bağlantılıdır; ancak uygulama artık daha az miktarda tehlikelidir ve sağlık açısından daha az tehlikeli maddeler içermektedir.

By the time the Roskilde ships were ready for conservation, the properties of PEG were known and sublimation of water via vacuum freeze-drying was widely applied for use in conservation of waterlogged wood. The freezing characteristics of the most frequent PEG's in water had been thoroughly analysed.⁷ By 1997 it had been scientifically proved that the molecular size of high molecular mass like PEG 4000 is too big to enter the cell wall of the wood.⁸ PEG 2000, also a solid impregnation agent at room temperature, can penetrate into the cell lumen and to some degree in the cell wall. Models for the diffusion of PEG into waterlogged wood according to dimensions and degree of degradation had been developed.⁹ Other important properties of the PEG 2000 are that it acts as a stabilising agent during and after the vacuum freeze-drying process and works as a cryoprotector; it reduces the expansion of the ice crystals during the freezing process. Based upon these results, PEG 2000 was selected as impregnation agent for the Roskilde ships.¹⁰

The concentration and process applied for the Roskilde ships – to a great extent the procedures still applied in our laboratory – consisted of immersing the wood in tanks with PEG 2000 in water at room temperature, starting at 10 % (w/w) increased to 40% (w/w) over at least 3 years depending of the dimensions and degree of degradation of the wood. After PEG impregnation, the pieces are removed from the tanks and brought to the freeze-drying-chamber and the water remaining in the material is removed by vacuum freeze-drying (Fig. 8). Shipwrecks conserved for exhibition, such as the Roskilde 6 ship, are freeze-dried in shape. The PEG impregnated objects are placed in moulds in order to obtain the correct shape (Fig. 9).¹¹ Moulds, shaping and fixing the ship pieces, are placed in the vacuum freeze-dryer and frozen to temperatures where PEG and water is completely stiff and crystalline (at least -25 °C). The frozen structure consisting of ice and solid PEG, supports the wood. When vacuum is applied (0,01 mbar) the ice crystals in the matrix change from solid phase to gas phase (sublimation) and is removed from the wood and the freeze-drying chamber to external ice traps. Depending of the dimensions of the objects, the vacuum freeze-drying process takes from 4 to 6 months. The treated objects are light in colour and weight, and have the correct shape for later mounting and ship assembly. Today's vacuum freeze-drying method links nicely back to Brorson Christensen's idea of removing the liquids from the waterlogged PEG impregnated wood via sublimation, but now applying less dangerous and health hazardous substances.

7 JENSEN vd. 1993, JENSEN vd. 2002b, JENSEN VE SCHNELL 2004.

8 JENSEN vd. 1993.

9 JENSEN vd. 1993.

10 JENSEN vd. 2011.

11 STRÆTKVERN vd. 2009

7 JENSEN et al.1993, JENSEN et al.2002b, JENSEN AND SCHNELL 2004.

8 JENSEN et al.1993.

9 JENSEN et al.1993.

10 JENSEN et al.2011

11 STRÆTKVERN et al.2009



Fig. 8: Roskilde 6'nın omurgasının uzun parçalardan birinin Türk meslektaşlarımızın yardımıyla konservasyon tankından alınarak vakumlu dondurucu- kurutucuya yerleştirilmesi. (Foto: Viking Gemi Müzesi-Roskilde)

Fig. 8: One of the long keel parts from Roskilde 6 is carried from the impregnation tank to the vacuum freeze-dryer with help from Turkish colleagues. (Photo: The National Museum of Denmark)



Fig. 9: Roskilde 6 omurgasının dondurarak-kurutucu için hazırlanışı. 32 m uzunluğundaki omurganın parçaları vakumlu dondurucuya itilmeden önce düzenlenerek kızağa sabitleniyor. (Foto: Viking Gemi Müzesi-Roskilde)

Fig. 9: The preparation with freeze drying the Roskilde 6 keel. The parts of the 32m long keel are arranged and fixed to the slate before it is pulled into the vacuum freeze drier. (Photo: The National Museum of Denmark)

ŞEKİLLENDİRME, MONTAJ VE SERGİLEME

Skuldelev gemilerinin konservasyon işlemleri sona erdiğinde, bu olağanüstü buluntunun sergilenmesi için hazır bir plan ve müze zaten vardı; Roskilde Viking Gemi Müzesi. Ancak demonte durumdaki gemilerin sergi öncesinde yeniden inşa edilmesi ve bir araya getirilmesi gerekiyordu. Metal taşıyıcı konstrüksiyonlar, Skuldelev gemilerinin *in situ* kayıtları ile birlikte her bir elemanın orijinal tam ölçekli belgelenmesine dayalı rekonstrüksiyonlara göre imal edilmiştir. Emdirme ve hava ile kurutma sonrasında borda kaplamaları sertleşmiş ve şekilleri yeniden inşa edilen gemi eğrilerine uymamıştı. Orijinal 1:1 belgelenmiş borda kaplamalarının her birinin şekline dayanan fiber plaka kalıpları oluşturuldu. Borda kaplamalarının kavisleri ölçüldü ve fiber plaka doğru şekilde tutulurken, doğru kavislere sahip kalıplar inşa edildi. Kuru, tam PEG emdirmesi yapılmış borda kaplaması yuvadaki kalıba yerleştirildi ve PEG eriyene ve ahşap esnek hale gelene kadar birkaç saat boyunca özel yapım bir nemli kabin içinde 60°C'ye kadar ısıtıldı. Henüz sıcakken, kalıptaki borda kaplamasına uygun kavis verildi; ardından parçalar kürdanlarla veya ince ahşap ve metal çubuklarla bağlanarak soğumaya ve katılaşmaya bırakıldı. Daha sonra borda kaplaması yuvadan kaldırıldı (Fig. 10) ve borda kaplamalarını yerinde tutmak için orijinal demir çivi delikleri kullanılarak taşıyıcı metal kaburgaya monte edildi.¹²

12 JENSEN vd. 2002a

SHAPING, MOUNTING AND EXHIBITION

When the conservation treatment of the Skuldelev ships had finished, there was already a plan and a museum ready for the exhibition of this remarkable find; the Viking Ship Museum in Roskilde, but the disassembled ships needed to be reconstructed and assembled prior to exhibition. Metal frames were made from the reconstruction based on the original full-scale documentation of the single elements combined with the *in situ* recordings of the Skuldelev ships. After impregnation and air drying, the planks were stiff and not shaped to fit into the reconstructed ship frames. Fibreboard moulds based upon the shape of each of the original 1:1 documented plank was created. The curvature of the plank was measured and with the fibreboard held in the right shape, a dock with the right curvatures was built. The dry, full PEG impregnated plank was placed on the mould in the dock and heated to 60°C in a special build humid chamber for several hours until the PEG melted and the wood became flexible. While still warm, the plank in the mould was given the right curvature, fragments were connected with tooth picks or thin wooden and metal sticks and the wood left to cool and solidify. The plank was then lifted (Fig.10), from the dock and mounted into the supporting metal frame, using the original iron nail holes to keep the planks in place.¹²

12 JENSEN *et al.* 2002a



Fig. 10: Skuldelev 1’de borda kaplamalarının şekillendirilerek test-montajlarının yapılması. (Foto: Viking Gemi Müzesi-Roskilde)
Fig. 10: The shaping and test-mounting of the planks in Skuldelev 1. (Photo: The Viking Ship Museum in Roskilde)

Roskilde gemilerinin sergilenmesinde, deforme olmuş veya düz gemi elemanlarının monte edilmesini sağlayabilmek için, ahşaplar ıslak ve emdirilmiş durumdayken doğru şekilde şekillendirilmiştir. Omurga parçalarıyla eğriler çelik çerçevelere bağlanmış, kırıklar doğru pozisyonunda sabitlenmiş ve kalıplar veya kamalar dondurarak kurutma öncesinde borda kaplamalarının altına yerleştirilmiştir. Bu süreçte kullanılan kavisler ve formlar, baştaki 1:1 dokümantasyona ve geminin tam rekonstrüksiyonuna dayanmaktadır.¹³ Sabitlenmiş form ve pozisyonlar, dondurarak kurutma işlemi sırasında korunur. Gemi elemanlarının ahşap hala ıslak, emdirilmiş ve esnek durumdayken şekillendirilmesi, sergilenmek üzere monte edilmeleri sırasında yüzeyin hasar görme riskini en aza indirir. Ayrıca, montaj sırasında PEG’nin bozunmaya yol açacak şekilde ısınması engellenmiş olur.

UZUN SÜRELİ STABİLİTE VE BAKIM

Skuldelev gemilerinin neredeyse tüm parçalarının konservasyon işlemleri PEG 4000 kullanılarak gerçekleştirilmiştir. PEG, normal müze ikliminde (20°C, % 50 RH) çok kararlı bir koruma ajanı olmasına rağmen % 85 RH üzerinde higroskopik olmaya başlar. Skuldelev gemilerinin konservasyonunda kullanılan ısıtma işlemleri, PEG’de bir miktar bozunmaya yol açtığından, suyun emilmesi daha düşük bağıl nem oranlarında gerçekleşebilir. Çoğu arkeolojik gemi ahşabı gibi, Skuldelev gemilerindeki borda kaplamaları ve eğriler de, çeşitli kimyasal bileşimlerde hem kükürt hem de demir içermektedir. Konservasyon ve sergileme sırasında, bu kimyasallar nem ve oksijen ile reaksiyona girerek 1980’lerin başında tuz / korozyon ürünleri demir çivilerin orijinal delikleri etrafında görünür hale gelmiştir.

¹³ STRÆTKVERN vd. 2016; STRÆTKVERN VE GØTHCHE 2017

In order to enable mounting of misshapen or flat ship parts for display of Roskilde ships, the timbers are fixed in the right shape while wet and impregnated. Keel parts and frame timbers are fastened in steel frames, fractures are fixed in the right position and moulds or wedges are placed under the planks before freezing. The curvatures and shapes used in this process are based upon the initial 1:1 documentation and the full reconstruction of the ship.¹³ The fixed frozen shapes and positions are preserved during the drying process. Shaping of the timbers while the wood is still in wet, impregnated and flexible condition minimises the risks of the surface being damaged upon mounting for display. Moreover, the degrading heating of the PEG during mounting is avoided.

LONG TERM STABILITY AND MAINTENANCE

Nearly all parts of the Skuldelev ships were conserved with PEG 4000, which under normal museum climate (20°C, 50% RH) is a very stable conservation agent, as it first starts to absorb water at RH above 85%. As the heating processes in the conservation of the Skuldelev ships have resulted in some degradation of the PEG the sorption of water can start at a lower RH. Like most archaeological ship timbers, the planks and frames from the Skuldelev ships contain both sulphur and iron in various chemical compositions. During the conservation and exhibition, these chemicals reacted with moisture and oxygen, and in the beginning of the 1980’ies salt/corrosion products became visible around the original holes for iron nails.

¹³ STRÆTKVERN *et al.* 2016, STRÆTKVERN AND GØTHCHE 2017

Kirsten Jespersen tarafından demir sülfat olarak analiz edilen bu durumun esas olarak sergi salonundaki kontrolsüz yüksek bağıl nemden kaynaklandığına inanılmaktadır. 1984 yılında yapılan kapsamlı temizlik ve % 50'ye yakın bağıl nem oranına sahip sabit iklim koşullarının oluşturulması demir sülfatın daha fazla yayılmasını durdurmuştur. PEG'den kaynaklanan mavimsi / beyaz bir döküntü yıllar boyunca ahşapta giderek daha fazla görülebilir hale gelmiştir. Bu durum muhtemelen çok fazla doğal ışık ve PEG'nin bozunmaya neden olduğu ahşapta görülen bir miktar ısınmadan kaynaklanmaktadır.¹⁴ Şu anda, renk değişikliği ve döküntüye neden olan faktörler (ne zaman, nasıl, nerede ve neden) araştırılmaktadır.

Roskilde gemilerinin tamamına 20°C'de PEG 2000 ile emdirme yapılması suretiyle PEG'nin işlenmiş ahşabı ısıtarak termal bozunmaya yol açmasından kaçınılmıştır. Hasarsız PEG 2000 öncelikle müze iklimi için standart normların (20°C, %50 bağıl nem) çok üzerinde olan % 80 bağıl nemi emmeye başlayacaktır. Kuru PEG yalnızca minimum miktarda emilmiş su içerdiğinden, tuzların ve çözünmüş PEG'nin ahşap içinden çıkışı çok sınırlı olmalıdır. PEG ile işlem görmüş ve dondurularak kurutulmuş ahşabın açık yapısı, oksijenin ahşaba ve içerdiği demir ve kükürtlü kimyasal maddelere hızlı bir şekilde erişmesini sağlar. Bu nedenle, tuz yayılmalarıyla ilgili potansiyel sorunların vakumlu dondurarak kurutmadan sonraki ilk yıllarda ortaya çıkması beklenmektedir. Şimdiye kadar, konservasyonu tamamlanmış Roskilde gemi ahşaplarında, yalnızca bir kez, ama ne yazık ki kapsamlı bir tuz yayılması kaydedilmiştir. Bu durum bir sergi alanındaki bağıl nemin çok hızlı ve aşırı artışından kaynaklanmıştır.

Viking Gemi Müzesi'nde sergilenmeye başladıktan sonra Skuldelev gemilerine uygulanan yüzey işlemleri konusunda fazla bir şey bilinmemektedir. Gemilerin belirli kısımlarında balmumu kokusu belirgin bir şekilde hissedilmekte ve ahşabın bazı renksiz kısımlarını gizlemek için uygulanan renkli bir balmumunun izleri görülmektedir. Bu istenmeyen özellikler artık hemen hemen yok olmaya yüz tutmuştur; gemilerin yıllık periyodik temizlikleri yapılırken her seferinde bir miktar daha düzelme sağlanmaktadır.

Konservasyonu yapılmış Roskilde gemi ahşabının yüzeyinde müdahale gerektiren bölgeler halen görülmektedir; kırılğan veya tutmamış, fazlaca bozunmaya uğramış alanların yüzeylerine etanol içinde % 20 PEG 2000 çözeltisi sürülerek fırçalanır. Bu işlem, kurutulduktan sonra ve bazen birden fazla kez herhangi bir durumda ahşaba uygulanabilir.

These outbreaks, analysed as iron sulphate by Kirsten Jespersen, are mainly believed to be caused by uncontrolled high RH in the exhibition hall. Thorough cleaning in 1984 and establishing of a stable climate with a RH close to 50% stopped further outbreaks of the iron sulphate. A bluish/white precipitation from the PEG has become increasingly visible on the wood over the years. It is presumably caused by too much natural light and incidental heating of the wood degrading of the PEG.¹⁴ Currently, the nature (when, how, where and prompting factors) of the discolouring and precipitation is being investigated. The Roskilde ships are all impregnated with PEG 2000 at 20°C and thermal degradation of the PEG by heating the treated wood has been avoided. Undamaged PEG 2000 will first start to absorb moisture at a RH of 80 %, far above standard norms for museum climate (20°C, 50 % RH). As the dry PEG only contains a minimal amount of absorbed water, migration of salts and dissolved PEG in the wood should be very limited. The open structure of the PEG-treated and freeze-dried wood allows a fast access of oxygen into the wood and to the containing iron and sulphur chemical agents. Therefore, potential problems with salt outbreaks are expected to take place in the first years after the vacuum freeze-drying. Until now, only one, but unfortunately a rather extensive sudden salt outbreak has been recorded on conserved Roskilde ship timbers. This outbreak was caused by a very rapid and extreme increase in the RH in an exhibition area.

We know little of the surface treatments applied on the Skuldelev ships after they were put on display in the Viking Ship Museum. The smell of bees wax on certain parts of the ships is unmistakable, and we can see traces of a coloured wax that has been applied to hide some discoloured parts of the wood. These features are almost gone now; we remove a bit every time we do the annual cleaning of the ships.

The conserved Roskilde ship wood still has areas that requires surface treatment; very degraded areas that are brittle or incoherent are brushed with solutions of 20 % PEG 2000 in ethanol onto the surface. This treatment can be given to the wood at any state after drying and sometimes more than once.

Viking gemilerinden beşini sergilemek hedefiyle tasarlanan Roskilde Viking Gemi Müzesi'nde, ziyaretçilerin gemilere yaklaşıp üzerlerinden parça çalmaları gibi bir sorunla karşılaşılıyordu. Bunun üzerine bulunan çözüm, gemileri çevreleyecek şekilde yerleştirilen kordonlar oldukça etkili olmuştur. Açık bir sergi salonunda beklendiği gibi ziyaretçilerin neden olduğu, gemilerin yüzeylerine saçılan tozlar da bir diğer sorundur. Konservatör olarak görev alan çalışanların yılda bir uyguladıkları elektrikli süpürgeyle çekme yöntemiyle gemilerin tozları alınmaktadır (Fig. 11). Özen gösterilerek yapılsa da, düzenli temizlik yüzeyleri bozulmaya yüz tutmuş olan gemilerin ömrünü kısaltmaktadır.

Halen Roskilde gemilerinden biri dışında tamamı konservasyonu takiben depoda tutulmaktadır. Roskilde 6 şimdiye kadar kazısı gerçekleştirilen en uzun Viking gemisidir ve 2013 yılından beri sergilenmektedir (Fig. 12); aynı zamanda gezici bir sergide yer alan ilk arkeolojik Viking gemisidir. Gemi sık sık yer değiştirdiğinden dolayı üzerine toz çökmesi de bu şekilde önlenmektedir. Yine de arkeolojik ahşap normalin üzerinde müdahaleye maruz kaldığından yüzeyleri ve kırılgan kenarları yıpranmakta ve aşınmaktadır. Roskilde 6 Viking gemisi 2021 yazında Danimarka Ulusal Müzesi'nde sürekli olarak sergilenmeye başlanacağından, maruz kalmakta olduğu olumsuz etkenlerde azalma olacaktır. Bununla birlikte gemiyle ziyaretçilerinin arasında uygun mesafenin korunması geminin büyüklüğü (37 metre) göz önüne alındığında oldukça güç görülmektedir. Geminin üzerine toz çökmesinin halledilmesi gereken bir sorun olmaya devam etmesi beklenmektedir.

In the Viking Ship Museum in Roskilde, which was designed to exhibit the five Viking ships, the museum visitors come close to the ships, and stealing of fragments from the ships used to be a problem. Cords installed around each ship as a simple fence practically solved this problem. Dust produced by visitors and spread onto the ship surfaces is another problem - as can be expected in an open exhibition hall. Once a year, conservators have to remove the dust from the ships by vacuuming (Fig. 11). Although carried out carefully, the regular cleaning of the degraded surfaces reduces the life span of the ships.

At the moment, all but one of the Roskilde ships have a future in the storage after conservation. Roskilde 6, the longest Viking ship ever excavated, has been on display since 2013 (Fig. 12) and is the first archaeological Viking ship in a travelling exhibition. The frequent moving of this ship prevents the dust to settle. However, the extra handling of the archaeological wood wears and tears the surfaces and fragile edges. As the Roskilde 6 Viking ship will be permanently exhibited in the National Museum in Denmark from the summer 2021, these degrading factors will be reduced. Protection against the public will remain a challenge, as the size (37 meters) of the ship makes it difficult to keep the appropriate distance between the public and the ship. It is expected that the dust settling will become an issue to deal with.



Fig. 11: Viking Gemi Müzesindeki batıkların yıllık temizliği. (Foto: Werner Karrasch, Viking Gemi Müzesi-Roskilde)

Fig. 11: The annual cleaning of the ships in the Viking Ship Museum. (Photo: Werner Karrasch, The Viking Ship Museum in Roskilde)

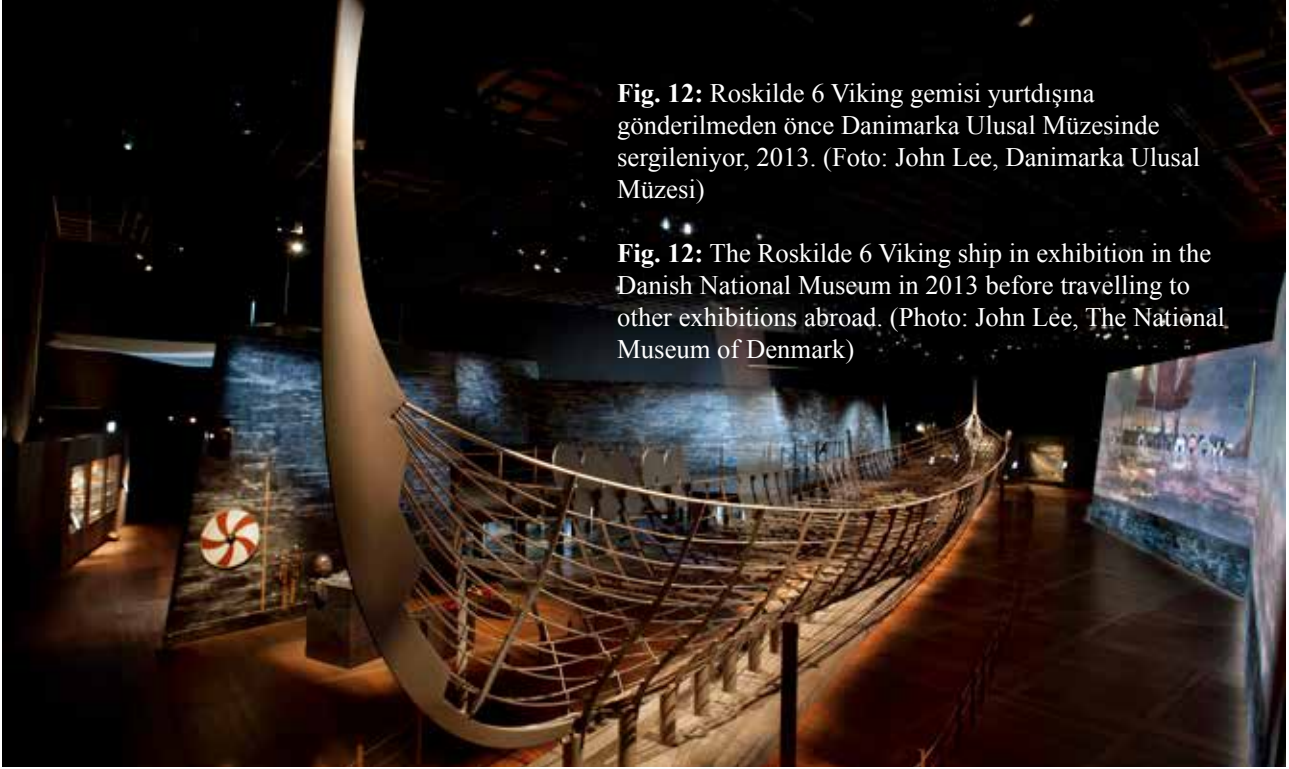


Fig. 12: Roskilde 6 Viking gemisi yurtdışına gönderilmeden önce Danimarka Ulusal Müzesinde sergileniyor, 2013. (Foto: John Lee, Danimarka Ulusal Müzesi)

Fig. 12: The Roskilde 6 Viking ship in exhibition in the Danish National Museum in 2013 before travelling to other exhibitions abroad. (Photo: John Lee, The National Museum of Denmark)

SONUÇ TESPİTLERİ

Skuldelev gemisinin konservasyonu öncü bir projeydi. Projenin tüm bölümleri geliştirildi, yeni yöntemler keşfedildi, uygulandı, gözden geçirildi ve etkinleştirildi. Fiyorttaki beş gemi herhangi bir inşaat faaliyetini engellememişlerdi, tek şikâyeti olan zaman zaman ağırları tahrip olan balıkçıları; kimse Skuldelev gemi ahşaplarının ‘kurtarılması’ gibi bir talepte de bulunmamıştı. Kazıya yalnızca araştırma yapmak, sonrasında da buluntuları sergilemek hedefiyle başlanmıştı. Projeye 1960’ların ilk yıllarında başladığında, suya doymuş ahşabın korunması geleneği Danimarka’da 100 yaşını bulmuştu bile. Bununla beraber böylesine muhteşem bir buluntu ilk kez keşfedilmişti. Buluntu, önceki arkeolojik ahşap kalıntılarından çok farklıydı. Konservasyona tâbi olacak ahşap miktarı yeni konservasyon prosedürleri ve cihazların geliştirilmesi ile konservasyon laboratuvarının genişletilmesini gerektiriyordu. Kamuoyundaki farkındalık ve heyecan kaynakların tahsisini haklı gösteriyordu. Kısa bir süre sonra teşhir için gemilerin tamamına konservasyon uygulanması, bu amaçla da amaca uygun müzenin inşa edilmesi gereği doğrulanmış oldu.

Yapılan işlemlerin hepsi talepleri tam olarak yerine getirmede; ancak koşullar göz önüne alındığında, Brorson Christensen ve Jespersen’in çalışmaları başarılı oldu; daha sonra kullanılacak yöntemler ve araştırmalar açısından bir dayanak oluşturarak günümüzde batık konservasyonunda bir kilometre taşı olarak durmaktadır. Roskilde gemilerinin korunmasının, özellikle 1990-2000 yılları arasında diğer büyük suya doymuş ahşap buluntularla yapılan çalışma ve araştırmalar ile birlikte oluşturulan bir kilometre taşıdır.

CONCLUDING REMARKS

The conservation of the Skuldelev ship was a pioneer project. All parts of the project had to be developed, new methods invented, exploited, revised and improved. The five ships in the fjord were not blocking any construction activity, apart from the local fishermen occasionally having their equipment destroyed by heavy catches, a ‘rescue’ of the Skuldelev ship timbers was never required. The excavation was purely for research and exhibition purposes. When the project started in the early 1960’s, the tradition for conservation of waterlogged wood in Denmark was 100 years old. Still, this was the first time such a spectacular find was revealed. The find was very different from the previous finds of archaeological wood, the amount of wood called for new conservation procedures, equipment and an expanding of the conservation laboratory. The public awareness and enthusiasm justified allocation of resources and very soon it was clear that all of the ships should be conserved and mounted for permanent display in a museum built for the purpose. Not all treatments fulfilled the demands completely, but considering the conditions, the work of Brorson Christensen and Jespersen was a success, it created the base upon which later methods and research was founded and stands today as a milestone in the conservation of shipwrecks. A milestone on which the conservation of the Roskilde ships is founded together with the work and studies of other large finds of waterlogged wood especially from 1990-2000.

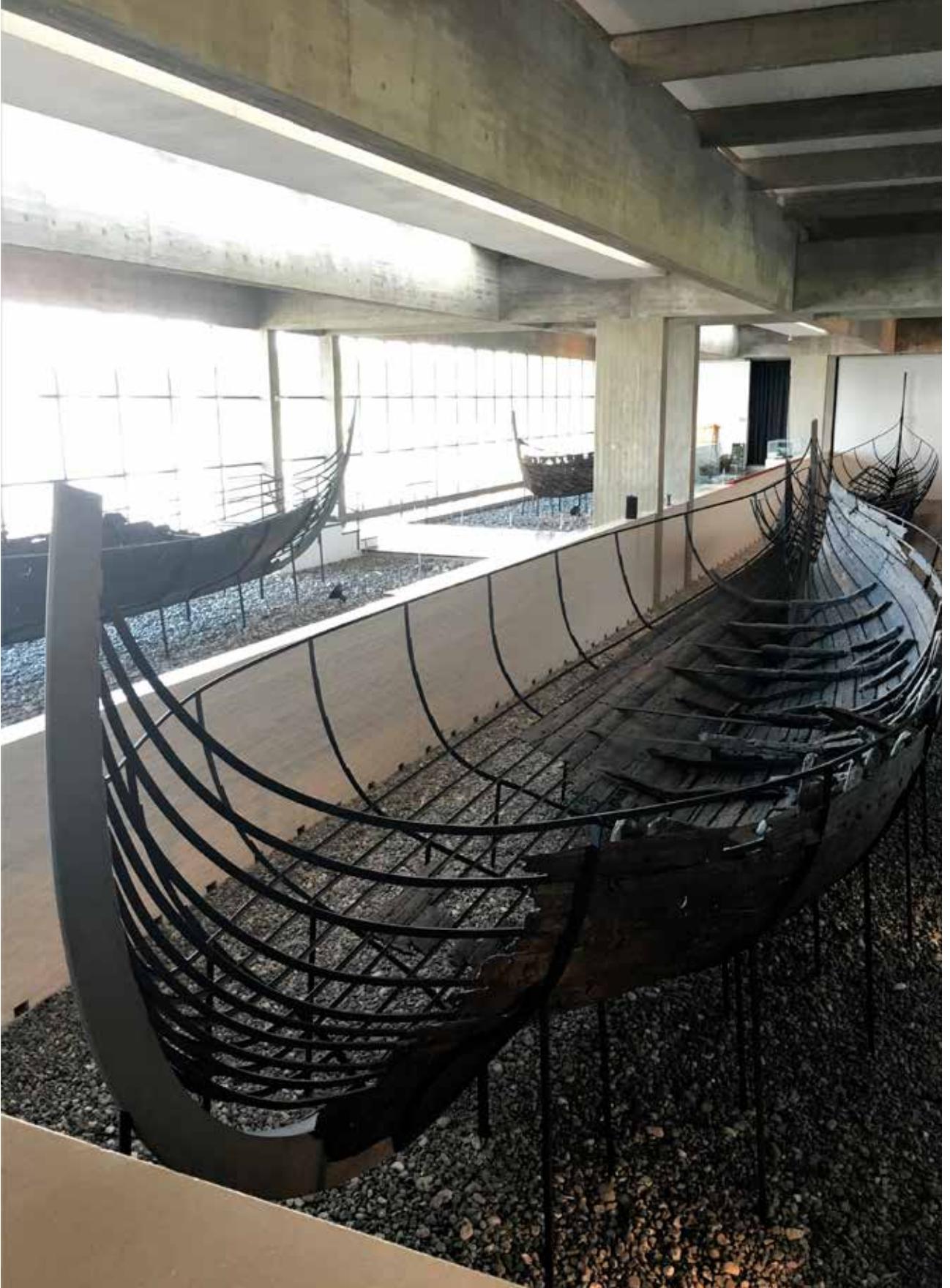


Fig.13: Skuldelev gemileri Roskilde'deki Viking Gemi Müzesinde sergileniyor. (Foto: Danimarka Ulusal Müzesi)

Fig. 13: The Skuldelev ships on exhibition in the Viking Ship Museum in Roskilde. (Photo: The National museum of Denmark)

Konservasyon laboratuvarına yeni buluntular ya da çok sayıda eser gönderildiğinde bu durum yeni yöntemlerin araştırılması ve geliştirilmesinde esin kaynağı olmaktadır. Roskilde buluntusunun konservasyon sürecinde konservatörler; değerlendirme teknikleri, dokümantasyonda yeni teknoloji, difüzyon mekanizmaları için modeller ve vakumla dondurarak kurutma süreçlerindeki araştırmalardan elde edilen sonuçları uygulamışlardır. Veri tabanlı izleme ve işleme tekniklerinin kullanımındaki gelişmeler, veri kaydı ve kontrolü olanaklarını geliştirmiştir. Kaydedilen ilerlemeler aynı zamanda sonuç alınması konusundaki talepleri artırmıştır. Konservasyondan sonra, ahşabın çok az çekmesi ve çökme olmaksızın açık renkli bir görünüme sahip olması beklenir.

Skuldelev gemileri ile Roskilde gemilerinin kazılması arasında otuz beş yıl geçmiştir. Geçen yıl (2019) beş Skuldelev gemisini barındıran Viking Gemi Müzesi, Danimarka'nın en çok ziyaret edilen müzeleri ve turistik yerlerinden biri olarak 50. yıldönümünü kutlamıştır (Fig. 13).

2020 yılında, Roskilde batıklarının kazılmasından neredeyse yirmi beş yıl sonra, konservasyon tanklarımızda hala müze depolarımızda yerini bekleyen gemi ahşapları bulunmaktadır. Sekiz batıktan yedisinin sonu depolarda bitecek gibi gözükmemektedir; bir tanesi sergi için seçilmiştir ve bu gemi diğer arkeolojik gemi buluntularından çok farklı bir şekilde erişilebilir hale getirilmiştir. Roskilde 6 gemisini seyahatler ve dünya çapında sergi için hazırlamak, başladığında yeni bir kavramdı, zaman içinde çok ün ve deneyim getirdi. Konservasyon açısından bakıldığında, yolculuğunun sonu mutluluk olacaktır.

Gemi buluntuları için bu iki farklı çözüme bakıldığında, bugün bir inşaat alanında göreceli olarak muhteşem bir gemi koleksiyonu keşfedilirse ne olacağı tahmin edilebilir mi? Suya doymuş ahşabın korunması alanında, teknik ve ekipmanlarda, malzemelerle ilgili bilgi ve bozunma ve konservasyon faktörleri konusunda dikkate değer gelişmeler gördük. Bu tür projeleri yürütecek profesyonel uzmanlık mevcuttur. Ancak günümüzde başka önemli parametreler belirleyici rol oynayacaktır;

- Denizcilik arkeolojisinde, arkeolojik buluntuların kontrollü bir şekilde yeniden gömülebilmeleri için araçlar ile birlikte deniz ortamlarındaki bozunma faktörlerinin tanımlanması ve izlenmesine yönelik metodoloji geliştirilmiştir.

When new types of finds or large amount of objects are sent to the conservation laboratory, it seems to inspire and initiate the research and development of methods. In the treatment of the Roskilde find, the conservators have applied results from the research in the assessment techniques, new technology in documentation, models for diffusion mechanisms and vacuum freeze-drying processes. The developments in the use of data based monitoring and processing techniques have improved the possibilities for data logging and control. The progresses have also increased the demands to the result. After conservation, the wood is expected to have a light appearance with only little shrinkage and no collapse.

Thirty-five years passed between the excavation of the Skuldelev ships and the Roskilde ships. Last year (2019) the Viking Ship Museum housing the five Skuldelev ships could celebrate its 50th anniversary as one of the most well visited museums and tourist attractions in Denmark (Fig. 13).

In 2020, almost twenty-five years after the excavation of the Roskilde shipwrecks, we still have ship timbers in our treatment tanks, awaiting a future in the museum storages. Out of eight wrecks, seven seem to end up in storages and one was selected for exhibition and made accessible in a very different way than other archaeological ship finds. Preparing the Roskilde 6 ship for travels and for exhibition worldwide was a new concept when it started and a lot of publicity as well as experience came out of it. From a preservation point of view, the end of its journey will be a bliss.

Looking on these two very different solutions for ship finds, one can speculate what would happen if a comparably spectacular collection of ships were discovered in a construction area today? In the field of waterlogged wood conservation, we have seen remarkable developments with techniques and equipment, in the knowledge about materials and on degrading and preserving factors. The professional expertise is available to manage such projects. But today, other important parameters would play decisive roles;

- In maritime archaeology, the methodology for identification and monitoring of degrading factors in the marine environments have been developed together with the tools for controlled reburials of archaeological finds.

- Son 20 yılda 2B ve 3B dokümantasyon teknikleri söz konusu olduğunda büyük adımlar atılmıştır. Sanal gerçeklik ve bilgisayar teknikleri müze galerilerine taşınarak halkı ve basını cezbetmiştir. Bu gelişme - eğer ortadan kaldırılmazsa - en azından sergilerdeki somut orijinal eser talebini azaltmış olabilir.
- Sürdürülebilirlik, atık üretimi ve enerji tüketimi gibi çevresel faktörler dikkate alınması gereken entegre parametreler haline gelmiştir.
- Ve son olarak; konservasyon, destekleyici yapılar, sergiler ve uygun iklim yaratma maliyetleri oldukça yüksektir.

Konservasyonun sağladığı avantajların uzun bir listesi yapılabilir. Arkeolojik denizcilik mirasının araştırma ve sergi için kullanılabilir hale getirilmesi büyük önem taşımaktadır. Müzelerde ve kültürel sektörde yaratılan işler ve potansiyel turistik mekânlar bir yana, günümüz toplumu, geçmiş teknolojilerden, kaynak yönetiminden ve becerilerden dersler alabilir. Ancak tüm bunları göz önünde bulundurarak, Danimarka'da başka bir "Skuldelev" durumu yaşanabileceğini hayal etmek zordur.

Günümüzde, araştırma kazıları sadece tamamı finanse edildiğinde yapılmaktadır ve Roskilde gemi kazısı gibi bir kurtarma kazısına başlanmadan önce, karar verme sürecinde daha geniş olasılıklar dikkate alınacak ve muhtemelen eksilere artılardan daha fazla ağırlık verilecektir. Ayrıca, bugün keşfedilmiş olsaydı Roskilde batıklarının hepsinin konservasyon için seçilmesi olası gözükmemektedir. Bu yüzden konservasyonunu yapmış olduğumuz gemiler ve konservasyon süreci devam etmekte olan gemiler daha da değerli hale gelmektedir. Bunlar, gemi inşa becerileri, denizcilik, eski kaynak yönetimi ve toplum yapılarının somut delilleridir; araştırılmak içindirler ve keyif almak içindirler. Çatlakları, onarımları ve eksik parçaları ile gerçeklerdir, erişilebilirler ve gelecek için geçmiş hakkında bir hikâye anlatmaktadırlar.

- Over the last 20 years, huge steps have been taken forward when it comes to 2D and 3D documentation techniques. Virtual reality and computer techniques have moved in to the museum galleries and captivated the public and the press. This development may have – if not eliminated, so at least - reduced the request for the tangible original object in the exhibitions.
- Environmental factors such as sustainability, waste production and energy consumption have become integrated parameters to be taken into account.
- And finally; the costs for conservation, creating supporting structures, exhibitions and the appropriate climate are considerable.

We can make a long list of the advantages of conservation. It is of great importance to make archaeological maritime heritage available for research and exhibition. Today's society can learn from past technologies, resource management and skills, not to mention the jobs created in the museums and cultural sector and the potential tourist attractions etc. But with all this in mind, it is difficult to imagine that we could have another "Skuldelev" situation in Denmark again.

Nowadays, research excavations are only carried out when completely funded, and before starting a rescue excavation, such as the Roskilde ship excavation, a wider range of possibilities would be considered in the decision making process and probably the cons would be given a higher weight than the pros. Also, it seems unlikely that if discovered today, all Roskilde shipwrecks would have been selected for conservation. That's why the ships we have conserved, and those who are on their way in the process become even more precious. They are tangible evidences of ship building skills, seamanship, ancient resource management and structures of society, for study, for enjoyment. With their cracks, repairs and lacking pieces they are real, they are accessible and they tell a story about the past for the future.

KAYNAKÇA-BIBLIOGRAPHY

- CRUMLIN - PEDERSEN-OLSEN 2002 Crumlin-Pedersen O., Olsen O., The Skuldelev Ships I, Roskilde, 2002.
- GREGORY et al.2007 Gregory D., Jensen P., Matthiesen, H. and Strætkvern, K., The correlation between bulk density and shock resistance of waterlogged archaeological wood using the Pilodyn. *Studies in Conservation*, 52, 289-298, 2007.
- GREGORY et al.2012 Gregory D., Jensen P., Strætkvern K., Conservation and *in situ* preservation of wooden shipwrecks from marine environments, *Journal of Cultural Heritage*, Volume 13.3, 139-148, 2012.
- JENSEN et al.1993 Jensen P., Bojesen-Koefted I., Meyer I., Strætkvern K., Freeze-drying from water. In *Proceedings of the 5th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Conference*. Eds. P. Hoffmann, T. Daley and T. Grant. Portland/ Maine 1993, 253 – 285, 1993.
- JENSEN et al.2002a Jensen P., Petersen A. H., Strætkvern K., Conservation. Kap. 4.1 i: The Skuldelev Ships I, by Ole Crumlin-Pedersen and Olaf Olsen, pp.70-81, Roskilde, 2002.
- JENSEN et al.2002b Jensen P., Jørgensen G., Schnell U., Dynamic LV-SEM analysis of freeze drying processes for waterlogged wood. In P. Hoffmann, J. A. Spriggs, T. Grant, C. Cook and A. Rees (eds.) *Proceedings of the 8th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference*. 319-331. Stockholm, 2002.
- JENSEN-SCHNELL 2004 Jensen P., Schnell U., The implication of using low molecular weight PEG in impregnation of waterlogged archaeological wood prior to freeze-drying. In P. Hoffmann, Kristiane Strætkvern, J. A. Spriggs and D. Gregory. (eds.). *Proceedings of the 9th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference*. 279-307, Copenhagen, 2004.
- JENSEN-GREGORY 2006 Jensen P., Gregory D., Selected physical parameters characterizing waterlogged wood: A practical guide for their determination. *Journal of Archaeological Science* 33: 551–9, 2006.
- JENSEN et al.2011 Jensen P., Petersen A.H., Strætkvern K., From the Skuldelev to the Roskilde ships. 50 years of shipwreck conservation at the National Museum of Denmark. *Shipwreck 2011. Chemistry and Preservation of Waterlogged Wooden Shipwrecks*, October 18-21, 2011. Stockholm, Sweden, 2011.
- JENSEN et al.2017 Jensen P., Pedersen R., Pedersen K., Gregory, D., Eriksen A.M., Björdal C., Development and use of a non-destructive diver-held underwater wood density profiler. In *ICOM-CC 18th Triennial Conference Preprints*, Copenhagen, 4–8 September, 2017, ed. J. Bridgland, art. 2002. Paris: International Council of Museums, 2017.
- MORTENSEN 2009 Mortensen, M., Stabilization of polyethylene glycol in archaeological wood. Kgs. Lyngby, Denmark: Technical University of Denmark, 2009.
- STRÆTKVERN et al.2009 Strætkvern K., Petersen A. H., Sørensen J. N., Jørgensen E., Successful shaping or destructive devices? Freeze-drying of ship timbers in moulds and frames. In (Huisman & Strætkvern) *Proceedings of the 10th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference*, Amsterdam 2007, pp. 417-438, 2009.

STRÆTKVERN et al.2016

Strætkvern K., Hjelm Petersen A. H., Pokupcic, N., Bojesen-Koefoed, I., Moesgaard, A., and Bruun Jensen, J. (2016): If only..! Experiences from the conservation of the World's longest Viking Age shipwreck for exhibition and travel. In Proceedings of the 12th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference, Istanbul 2013. Istanbul, 2016.

STRÆTKVERN et al.2017

Strætkvern K., Gøthche, M., Roskilde 6 - Reconstructing the longest warship find of the Viking Age. In Benno van Tilburg (ed.) Proceedings of the Thirteenth International Symposium on Boat and Ship Archaeology Amsterdam 2012 (ISBSA 13). Amsterdam, 2017.

*OSLO LİMANI'NDAKİ
16. YÜZYILA AİT GEMİ
BATIKLARI. KONSERVASYON,
REKONSTRÜKSİYON VE SERGİLEME
SÜREÇLERİ SIRASINDA YAŞANAN
GÜÇLÜKLER VE YAPILAN SEÇİMLER*

*THE 16TH CENTURY SHIPWRECKS FROM
OSLO HARBOUR. CHALLENGES AND CHOICES
DURING THE PROCESS OF CONSERVATION,
RECONSTRUCTION AND EXHIBITION*





* Hilde Vangstad



**Tori Falck



***Monica Hovdan



****Pål Thome

Anahtar kelimeler: Oslo limanı, Rönesans batıkları, Barcode projesi, suya doymuş ahşap konservasyonu, dondurarak kurutma.

Keywords: Oslo harbour, The Renaissance Shipwrecks, Barcode project, waterlogged wood conservation, freeze drying.

ÖZET

Norveç Denizcilik Müzesi Oslo limanında 2004 yılından beri büyük bir kazı operasyonunu yürütmektedir. Sayıları 60'ı geçen batığın yanı sıra ağırlıklı olarak 16 ve 17. yüzyıllara ait Oslo limanının yoğun rıhtım kalıntıları ortaya çıkarılmıştır. Bu makalede söz konusu döneme tarihlenen, Barcode B11-12 projesi (2008-2009) ve B3/B7 projesi (2015-2016) olarak iki proje çerçevesinde kazısı yapılan gemi ve tekne grubunun tanıtımına odaklanılacaktır. Bu gemilerin boyutları ve şekilleri küçük, kürekle hareket ettirilen sandallar ile iki ya da daha çok direkli üstü kapalı kargo gemileri arasında değişmektedir. Kazılar sırasında elde edilen buluntular, özellikle dönemin çeşitli gemi inşa teknikleriyle birlikte Norveç'in denizcilik tarihi konusunda yeni bilgilere ışık tutmuştur. Oslo batıklarından elde edilen buluntuların dokümantasyon ve konservasyonu konusunda müzenin karşılaştığı en büyük zorluklardan biri malzemenin boyutları ve büyüklüğü olmuştur, bu makalede her bir buluntunun bilimsel ve eğitsel değerlendirmesine dayalı dört koruma seviyesi sunulacaktır. Ele alınan temel yöntemler suya doymuş ahşapta PEG-empirme ve dondurarak kurutma ve bu yöntemlere farklı yaklaşımların prosedürleriyle ilgilidir. Makale özellikle iki örnek (Barcode 6 ve 8) üzerinden arkeolojik batık buluntularının kazıdan sergilenmesine kadar geçen sürece odaklanmaktadır.

ABSTRACT

Since 2004 the Norwegian Maritime Museum has conducted large excavations in the old harbour of Oslo, Norway. More than 60 shipwrecks have been uncovered, together with extensive wharf constructions that are the remains of Oslo's harbour mainly in the 16th and 17th centuries. The focus in this article will be to introduce a cluster of ships and boats, dated to this period that was excavated on two key projects, The Barcode B11-12 project (2008-2009) and the B3/B7 project (2015-2016). They vary in size and shape from small open rowing boats to small, covered cargo ships with two or more masts. The finds provide new insights to the maritime history of Norway, and in particular to the varied ship building techniques of this period. A major challenge for the museum concerning the documentation and conservation of the ship finds from Oslo is the size and magnitude of the material, and this article will present four levels of preservation based on an evaluation of each finds scientific and educational value. The main methods discussed concerns PEG-impregnation and freeze drying of waterlogged wood, and different procedural approaches to these methods. Through two specific cases, the Barcode 6 and 8, the article focuses on how to bring an archaeological shipfind from excavation to exhibition.

* Hilde Vangstad Orcid ID: 0000-0002-1579-3977, Norveç Denizcilik Müzesi, Norwegian Maritime Museum.

**Tori Falck Orcid ID: 0000-0002-9863-9616, Norveç Denizcilik Müzesi, Norwegian Maritime Museum.

***Monica Hovdan ID: 0000-0002-0613-7257, Norveç Denizcilik Müzesi, Norwegian Maritime Museum.

****Pål Thome, Norveç Denizcilik Müzesi, Norwegian Maritime Museum.

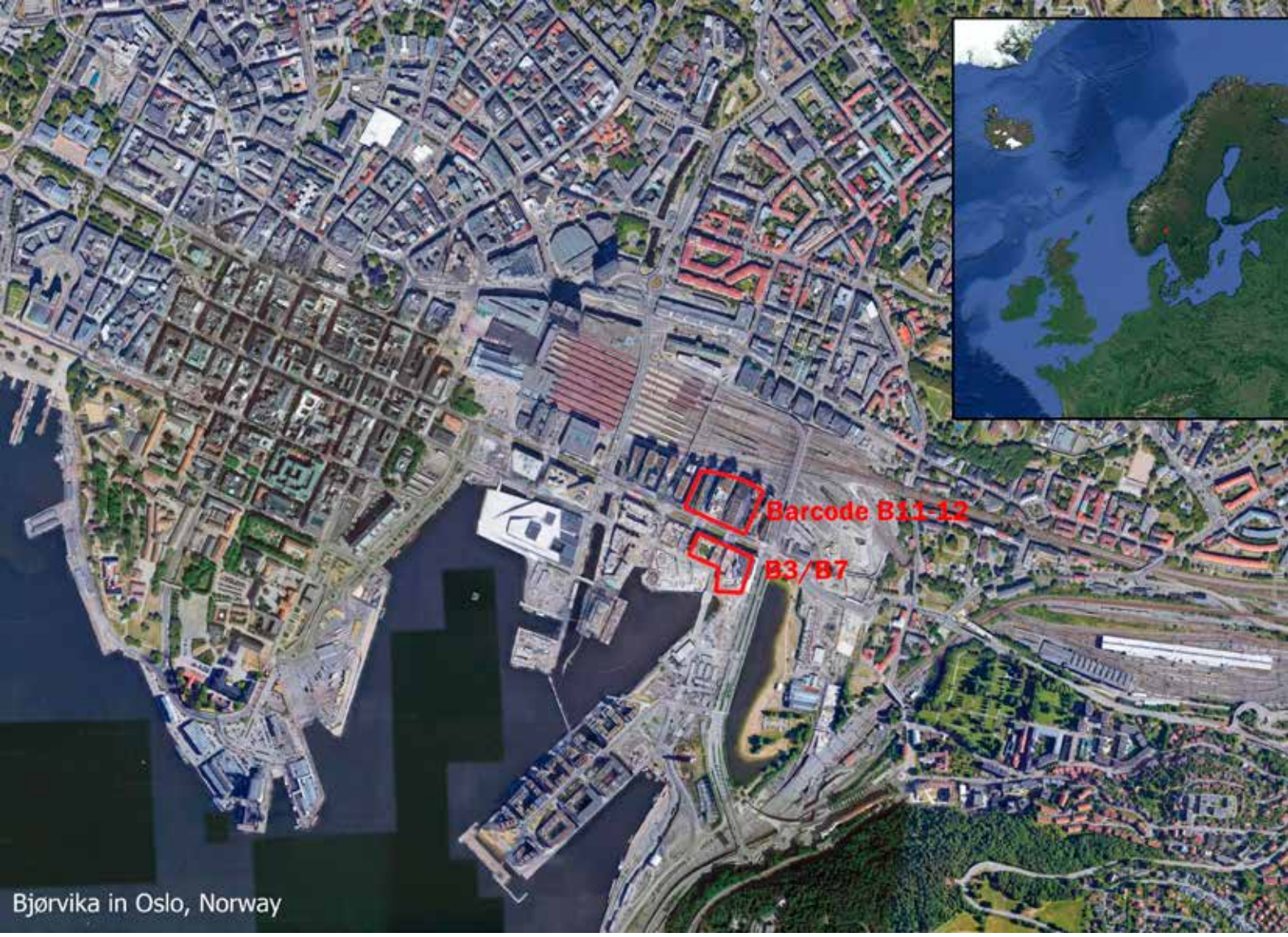


Fig. 1: Barcode B11-12 (2008-2009) ve B3/B7 (2015-2016) batıklarındaki iki kazıyla modern Oslo limanı. 1624 yılında kasaba ve liman Bjørvika körfezinin doğu tarafından batı tarafına taşınmıştır. Harita: Sjoerd van Riel/NMM.

Fig. 1: The modern harbour of Oslo with two excavations, the Barcode B11-12 (2008-2009), and the B3/B7 (2015-2016). In 1624 the town and harbour was moved from the east side to the west side of the Bjørvika bay. Map: Sjoerd van Riel/NMM.

Arne Emil Christensen ve arkadaşları 1965 yılında Oslo kentinin merkezinde 17. yüzyıla ait ‘Jernbanetorget batığı’ kazısını yaptığından¹ bu yana, Oslo limanı bölgesinde 60’ın üzerinde batık keşfedilmiştir.² Batıkların çoğu günümüzde kuru bir arazide bulunmuş olup, MS 14. yüzyıl ile 19. yüzyıl arasındaki döneme tarihlenmektedir.

Oslo’nun en geç 1050’li yıllarda Viking dönemi sonlarında kurulduğu³ düşünülmektedir; şehir 1314 yılında Norveç’in başkenti olmuştur. Norveç 1536 yılındaki kilise reformundan sonra Danimarka’nın bir ili olmuş, il yönetimi Oslo’da yerleşik olarak kalmaya devam etmiştir. 1624 yılında Bjørvika körfezinin doğu tarafında yerleşik bulunan Ortaçağ Oslo kenti, üst üste en az 16-17 yangının sonuncusuyla yıkılmış⁴, şehirde yaşayanlar Bjørvika

körfezinin diğer tarafında yer alan kral kalesinin yakınındaki alanda bulunan kasabaya göç etmek zorunda kalmışlardır.

Bu çalışmanın temel noktasını Ortaçağ Oslo kenti limanında bulunan, ağırlıklı olarak MS 16. yüzyıla tarihlenen bir grup gemi ve teknenin tanıtımı oluşturacaktır (Fig. 1). Bu dönem kentin yerinin yeniden düzenlenmesinden önce Oslo’nun eski son evresidir. Batık bulguları 2000’li yılların başlarından bu yana Norveç Denizcilik Müzesi (NMM) tarafından yürütülen birçok proje arasında yer alan “Barcode B11-12” ve “B3/B7” adlı iki projede tespit edilmiştir. Söz konusu buluntuların korunması müzeye muazzam bir iş yükü oluşturmuştur. Bu makalede, karşılaşılan bazı güçlükler anlatılacak ve bu süreçte kullanılan yöntemler ve pratik çözümler sunulacaktır.

¹ CHRISTENSEN - MOLAUG 1966

² CHRISTENSEN 1973, PAASCHE – RYTTER - MOLAUG 1995, BÆKKEN – ENGEN - MOLAUG 1998, MOLAUG 2002, JOHANSEN 2007, VANGSTAD 2012; 2014, ENGEN - JOHANSEN 2012, GUNDERSEN 2012, HOBBERSTAD 2012, FALCK 2012, FALCK vd. 2014, BORVIK vd. 2015

³ NEDKVITNE - NORSENG 1991, 14-38

⁴ SCHIA 1991, 157

Since Arne Emil Christensen and his colleagues excavated the 17th century 'Jernbanetorget wreck' in the middle of Oslo city in 1965¹, more than 60 shipwrecks have been uncovered in the Oslo harbour area.² Most of the shipwrecks were situated in what is today dry land, and date from the 14th to the 19th centuries AD.

Oslo is believed to be founded at the end of the Viking era, around 1050 at the latest³, and became the capital of Norway in 1314. Norway became a province of Denmark after the reformation of the church in 1536, but the province administration continued to be based in Oslo. In 1624 the medieval Oslo, situated on the east side of Bjørvika bay, was demolished by the last of a succession of at least 16-17 fires⁴, and the citizens were forced to

move their town to the area close to the king's fortress on the other side of Bjørvika bay.

The focus here will be to introduce a cluster of ships and boats found in the harbour of the medieval town of Oslo, dated mainly to the 16th century AD (Fig.1). This is the old Oslo's last phase before the town was re-situated. The ship finds stem from two of the many projects run by the Norwegian Maritime Museum (NMM) since the early 2000s: the 'Barcode B11-12' and 'B3/B7' projects. The conservation of these finds has presented the museum with a tremendous task, and this paper will describe some of the challenges we have met and explain chosen methods and practical solutions used in the process.

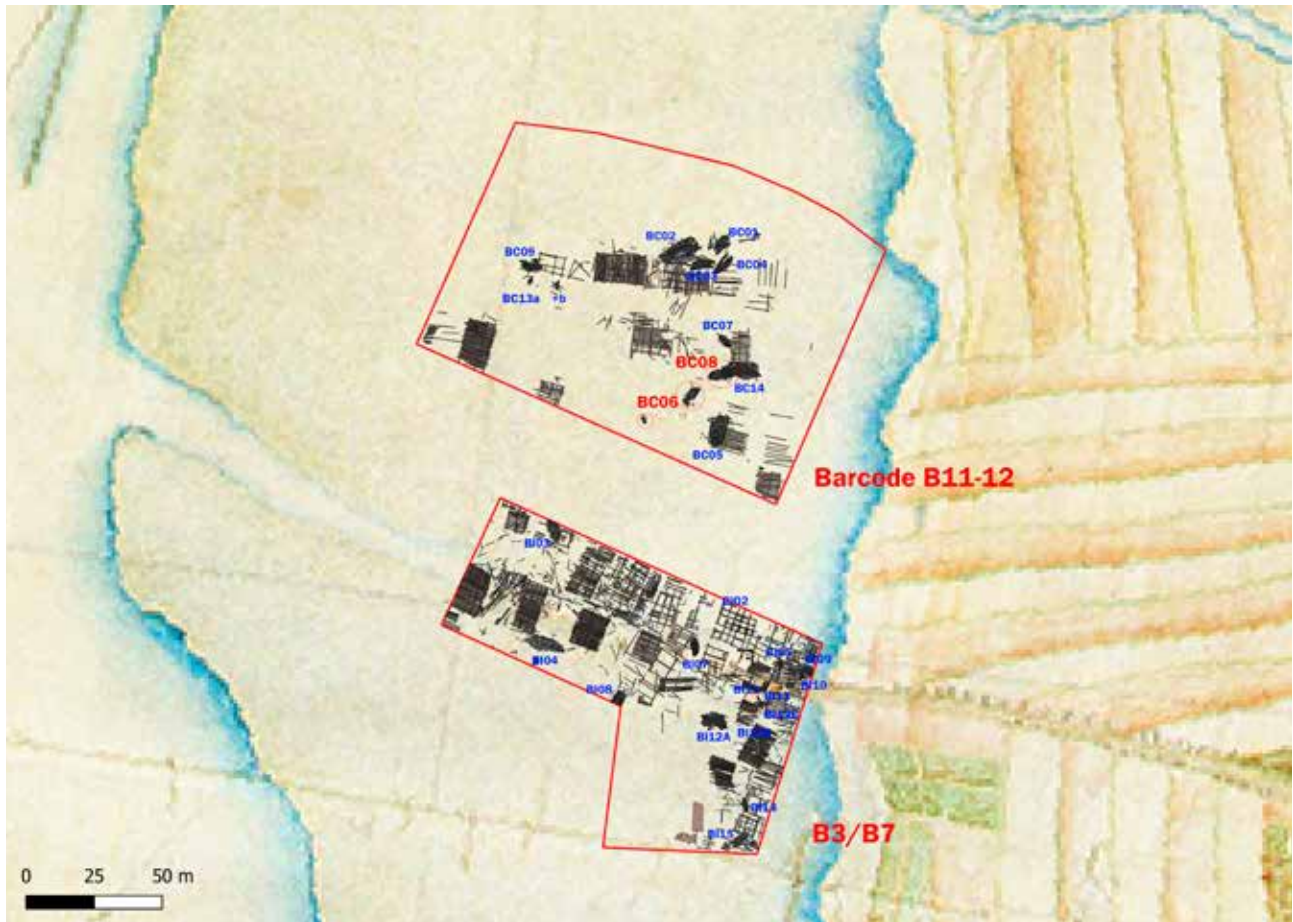


Fig. 2: Liman yapıları ve gemi buluntuları ile birlikte kazı sonuçlarını gösteren harita. Metinde sözü geçen batık buluntuları harita üzerinde Barcode 6 (BC06) ve Barcode 8 (BC08) adlı iki gemi kırmızıyla işaretli olarak numaralandırılmıştır. Arka plandaki harita yaklaşık 1700 yılındandır. Harita: Sjoerd van Riel/NMM.

Fig. 2: Map showing results from the excavations, with harbour constructions and shipfinds. Shipfinds mentioned in the text are numbered on the map, with the two vessels, Barcode 6 (BC06) and Barcode 8 (BC08), marked in red. Background map is from approximately 1700. Map: Sjoerd van Riel/NMM.

1 CHRISTENSEN - MOLAUG 1966

2 CHRISTENSEN 1973, PAASCHE – RYTTER - MOLAUG 1995, BÆKKEN – ENGEN - MOLAUG 1998, MOLAUG 2002, JOHANSEN 2007, VANGSTAD 2012; 2014, ENGEN - JOHANSEN 2012, GUNDERSEN 2012, HOBBERSTAD 2012, FALCK 2012, FALCK *et al.* 2014, BORVIK *et al.* 2015

3 NEDKVITNE - NORSENG 1991, 14-38

4 SCHIA 1991, 157

OSLO LİMANI'NDAKİ GEMİ BULUNTULARI

Oslo limanı 21. yüzyılda dünyanın birçok yerindeki şehir limanlarına benzer şekilde kentsel dönüşüm süreci içerisinde. Ticari, endüstriyel, son olarak da kentsel peyzajın kıyısında kalmaktan çıkıp, artık müzeler, ofisler ve seçkin yerleşim blokları için oldukça cazip bir alan olarak görülmektedir. Yeni geliştirilen alan eski Oslo'nun tarihi limanının neredeyse tamamını kapsamakta olup, büyük-ölçekli geliştirme projeleri nedeniyle eski denizci Oslo'nun gizli ve görünür izlerinin %70'den fazlası tahrip edilerek yok olacaktır. 2008 yılında yapılan Barcode B11-12 kurtarma kazıları sırasında arkeolojik gemi ve liman yapıları ortaya çıkmaya başladığında Oslo'nun denizcilik tarihinin metrelerce deniz tabanı çamuru ve modern dolgunun altında çok iyi durumda korunmuş olduğu anlaşılmıştır (Fig. 2).

RÖNESANS DÖNEMİ BATIKLARI –İKİ TEMEL PROJE

Barcode B11-12 (2008-2009) ve B3/B7 (2015-2016) projelerinde çok iyi korunmuş durumda yaklaşık 28 batık ortaya çıkarılmıştır⁵; batıklar 1500'lü yılların başlarından 1600'lü yılların başlarına tarihlenmektedir.⁶ (Fig. 3) Batıklar küçük açık kürekli teknelerden, iki veya daha fazla direğe sahip küçük, kapalı kargo gemilerine varan değişik boyut ve şekillerdedir. Bir tanesi dışında hepsi İskandinav tipi bindirmeli kaplama (*lapstrake*) gelenekle inşa edilmiştir. Gemilerin büyük kısmı kargo amacıyla inşa edilmiş, bir veya iki direk donatılmış daha küçük yelkenli gemilerden oluşmaktadır. Buna ek olarak, Oslo limanında yapılan ve bu makalenin kapsamına girmeyen farklı projelerde aynı döneme ait üç ayrı tekne– Havnelageret 1, Sørenga 5 ve 6⁷ - daha bulunmuştur. On altıncı yüzyılda Oslo giderek daha çok uluslararası kereste ticaretiyle ilgilenmeye başlamış, Oslo batıklarının çoğu hem yük gemisi hem de daha büyük gemilere ikmal teknesi olarak bu ticarete yer almış olmalıdır.

Bu nedenle, söz konusu dönemden batık sayısının bolluğu, küresel ticaret ağları, Avrupa'daki ormansızlaştırma ve Avrupa kıtasında gemi, ev ve kanal yapımı için keresteye duyulan talepteki değişiklikler ışığında anlaşılabilir.

Bu yazıda her ikisi de denizci Oslo'nun yaşadığı büyük ekonomik ve fiziksel yayılmanın maddi kanıtını oluşturan ve sürekli liman yapılarına sahip birbirine bitişik iki kazı alanında yer alan batıklar üzerinde durulacaktır.

SHIP FINDS FROM OSLO HARBOUR

Oslo harbour is experiencing the same urban transformation as many city harbours all over the world in the 21st century. From being a mercantile, industrial and finally a marginal part of the urban landscape, it is now seen as a highly attractive area for museums, offices and exclusive apartments. The newly developed area covers nearly all of the historic harbour of the old Oslo, and because of the large-scale development projects, more than 70% of the hidden and visible traces of old, maritime Oslo will be disturbed and lost. As the archaeological ship and harbour constructions started to appear during the Barcode B11-12 rescue excavation in 2008, it became clear that the maritime history of Oslo was very well preserved under metres of seabed clay and modern infill (Fig. 2).

THE RENAISSANCE SHIPWRECKS – TWO KEY PROJECTS

The Barcode B11-12 project (2008-2009) and the B3/B7 project (2015-2016) yielded altogether 28 more or less well-preserved shipwrecks⁵, dating from the early 1500s to the early 1600s.⁶ (Fig. 3) They vary in size and shape from small open rowing boats to small, covered cargo ships with two or more masts. All but one ship is constructed in the Nordic, clinker-built tradition (*lapstrake*). The bulk of the vessels consist of smaller sailing ships, built for cargo, and equipped with one or two masts. In addition, three other boats from around the same period – Havnelageret 1, Sørenga 5 and 6⁷ were found on different projects in Oslo harbour not featuring in this paper. During the 16th century Oslo became increasingly engaged in the international timber trade, and many of the Oslo shipwrecks must have been involved in this trade, both as cargo vessels and supply boats for larger vessels.

The abundance of wrecks from this particular period can therefore be seen in the light of changes in global trade networks, the European deforestation, and the demand for timber to build ships, houses and dikes on the European continent. In this presentation, we will focus on the vessels from two adjacent excavation plots with continuous harbour structures, which together form the material evidence of a huge economic and physical expansion of the maritime Oslo.

5 GUNDERSEN 2012, VANGSTAD 2009; 2011; 2012; 2014, FALCK vd. 2014

6 DALY 2010A; 2010B, 2010C, 2010D, 2011, 2013, 2014A, 2014B, 2014C, 2015, 2016

7 BÆKKEN vd. 1998

5 GUNDERSEN 2012, VANGSTAD 2009; 2011; 2012; 2014, FALCK *et al.* 2014

6 DALY 2010A; 2010B, 2010C, 2010D, 2011, 2013, 2014A, 2014B, 2014C, 2015, 2016

7 BÆKKEN *et al.* 1998

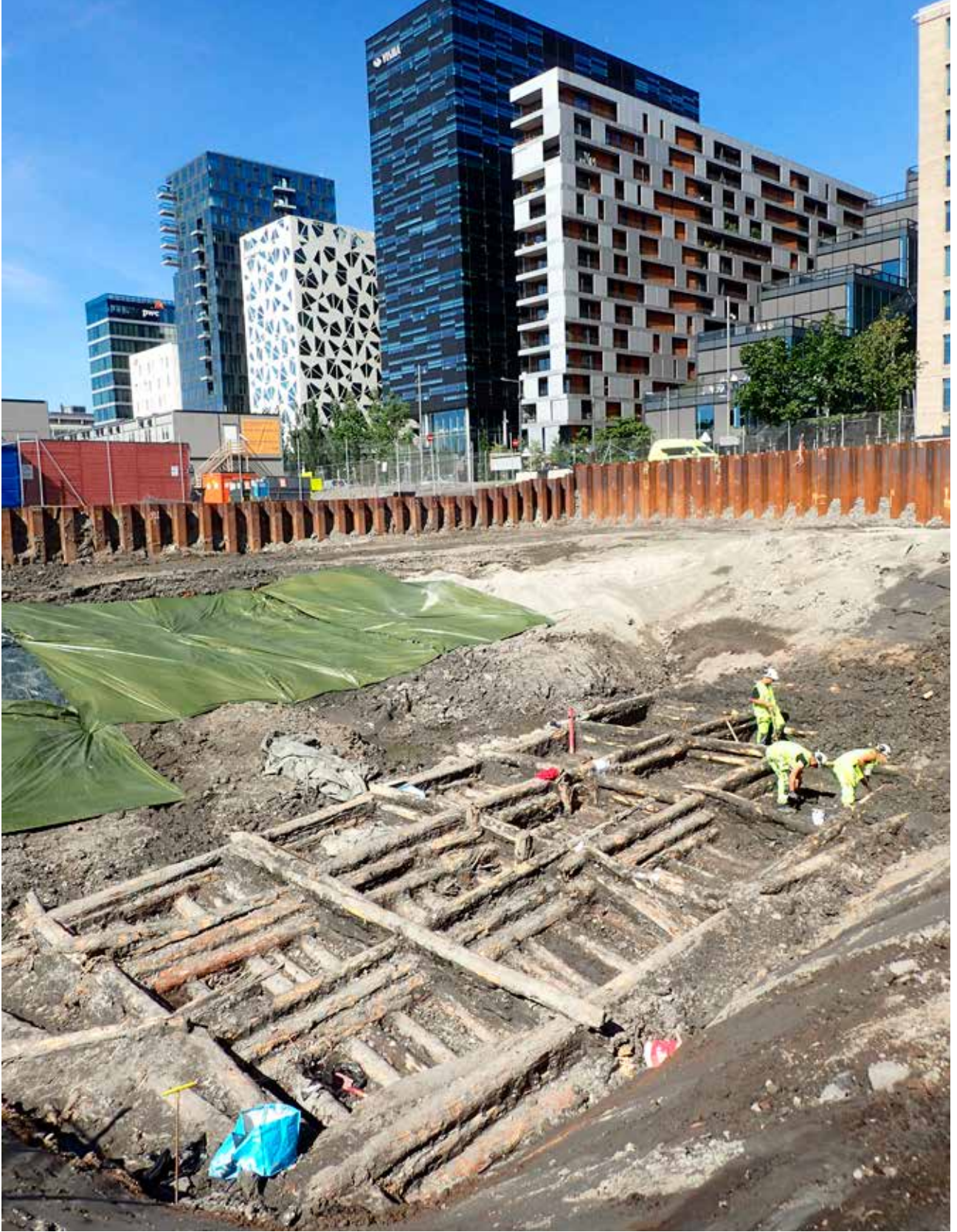


Fig. 3: Ağustos 2015 tarihinde gerçekleştirilen B3/B7 kazı alanından. Ön planda K11 iskele inşaatı, arka planda modern yüksek katlı binalar (Barcode binaları). Yüksek katlı binalar 2008-2009'da kazılan Barcode B11-12-proje alanına inşa edilmektedir. Barcode 6 sağ taraftaki sarı binada (DNB merkez ofisi) sergilenmektedir. Foto: NMM

Fig. 3: From the excavation site B3/B7 in august 2015. The wharf construction K11 in front with the modern highrises in the background (the Barcode buildings). The highrises are built on the site of the Barcode B11-12-project, excavated in 2008-2009. The Barcode 6 is exhibited in the yellow building to right (DNB headquarters). Photo: NMM

	Barcode ve B3/B7 projelerinde saptanan batıklar	Öncül tarihler – MS	Yapım	Saptanan ahşap kalıntı sayısı	Koruma alternatifleri planı 1-4
	The shipwrecks from Barcode and B3/B7	Preliminary dates AD	Construction	No. of ship timbers found	Plan for conservation alternatives 1-4
1	Barcode 1	1598-1604	Bindirme kaplama Lapstrake	381	2
2	Barcode 2	1590	Bindirme kaplama Lapstrake	1081	2 ve 3 / 2 and 3
3	Barcode 3	1605-1618	Bindirme kaplama Lapstrake	307	2
4	Barcode 4	1572-1586	Bindirme kaplama Lapstrake	315	3
5	Barcode 5	1602-1616	Bindirme kaplama Lapstrake	761	3
6	Barcode 6 (ve/and 12)	1595 sonrası After 1595	Bindirme kaplama Lapstrake	282 (22=BC12)	1 ve 2 / 1 and 2
7	Barcode 7	1590	Bindirme kaplama Lapstrake	152	3 ve 4 / 3 and 4
8	Barcode 8	1595	Bindirme kaplama Lapstrake	527	1 ve 2 / 1 and 2
9	Barcode 9 (ve/and 13)	1561-1565	Bindirme kaplama Lapstrake	272 (74=BC13)	3 ve 4 / 3 and 4
10	Barcode 10	1550-1564	Bindirme kaplama Lapstrake	43	3 ve 4 / 3 and 4
11	Barcode 11	Tarihlendirme yok / Not dated	Bindirme kaplama Lapstrake	18	3 ve 4 / 3 and 4
12	Barcode 14	1574	Bindirme kaplama Lapstrake	574	2 ve 3 / 2 and 3
13	Barcode 15	Tarihlendirme yok/ Not dated	Bindirme kaplama Lapstrake	15	4
14	Bispevika 2	1518	Bindirme kaplama Lapstrake	96	3 ve 4 / 3 and 4
15	Bispevika 3	1549-1563	Bindirme kaplama Lapstrake	228	3 ve 4 / 3 and 4
16	Bispevika 4	1543 sonrası After 1533	Bindirme kaplama Lapstrake	680	3 veya 4 / 3 or 4
17	Bispevika 5	1493 sonrası After 1493	Bindirme kaplama Lapstrake	24	4
18	Bispevika 6	1572-1583	Bindirme kaplama Lapstrake	62	3 ve 4 / 3 and 4
19	Bispevika 7	1548-1561	Bindirme kaplama Lapstrake	150	3 veya 4 / 3 or 4
20	Bispevika 8	1534-1539	Karavela Carvel	214	3
21	Bispevika 9	1520-1532	Bindirme kaplama Lapstrake	49	3 ve 4 / 3 and 4
22	Bispevika 10	1520-1532	Bindirme kaplama Lapstrake	56	3
23	Bispevika 11	1567	Bindirme kaplama Lapstrake	103	3
24	Bispevika 12a+b	1566-1570	Bindirme kaplama Lapstrake	282 (Bispevika 12c dahil) (incl Bispevika)	3 ve 4 / 3 and 4
25	Bispevika 12c	1532	Bindirme kaplama Lapstrake	0	3 ve 4 / 3 and 4
26	Bispevika 13	1527-1542	Bindirme kaplama Lapstrake	18	4
27	Bispevika 14	1532-1544	Bindirme kaplama Lapstrake	128	2 ve 3 / 2 and 3
28	Bispevika 15	1511-1525	Bindirme kaplama Lapstrake	176	3 veya 4 / 3 or 4
	Toplam/In Total:			6994	

Fig. 4: Tablo. Barcode B11-12 ve B3/B7 projelerinde saptanan 28 batık. Tarihleme ve konservasyonlar öncüdür, çalışmalar ilerledikçe değişebilir veya yeni tarihler eklenebilir.

Fig. 4: The 28 shipwrecks from Barcode B11-12 and 3/B7 projects. Dating and conservation solutions are preliminary and might change or new dates added as the work progresses.

Kazıdan sergilemeye kadar geçen zaman suya doymuş ahşap kalıntıları söz konusu olduğunda uzun bir süreçtir. 2008-2009'da bulunan Barcode teknelerinin konservasyon işlemleri halen kısmen devam etmekte olup, en son batık bulguları henüz işlem yapılmayı beklemektedir.

Barcode 6 ve Barcode 8 batıklarının konservasyon, kopyalama ve sergilenme işlemleri Oslo'nun Rönesans donanması konusunda bilgi edinmek ve yaymak için nasıl uğraştığımızı göstermektedir.

MS 16. YÜZYILDA OSLO LİMANI

Ortaçağ'a tarihlenen Bjørvika körfezindeki eski Oslo limanı çok sayıda küçük nehir ve derenin daha fazla siltasyona neden olmasından dolayı doğal olarak sığ durumdadır. Şu ana kadar bulunan en eski rıhtım yapıları yatay olarak döşenmiş yuvarlak kerestelerden oluşan ahşap kesonlarla yapılmış olup, MS 1199 yılına tarihlenmektedir.⁸ On dördüncü yüzyıl itibarıyla, kentte 1624 yılında çıkan yıkıcı bir yangınla sonlanan sürekli

genişleyen bir rıhtım gözlenmektedir (Fig. 5).

16. yüzyıl ve 17. yüzyılın başlarında kazılan ahşap iskelelerin hepsi "cobb" tipinde olup, açık olarak inşa edilerek yatay olarak döşenmiş yuvarlak keresteler içeren kutu-şekilli çerçevelerden oluşmaktadır; çentikli köşeleri ağaç evlerinkine çok benzerdir (Fig. 6). Açık yapımlar iskelelerin ince dolgu içermesine izin vermez. Örneğin bunların Norveç'in batı kıyısında yer alan Bergen'deki Ortaçağ rıhtımlarındaki gibi büyük taşlar kullanılarak battığına dair bulgu yoktur.¹⁰ Rıhtımların bazıları yuvarlak keresteden sal veya "ızgaralar" üzerine inşa edilmişken, diğerlerinde bu özellik yoktur. Kullanılan malzeme ağırlıklı olarak yerli ladin ve çamdır.

Rıhtımlar kıyı boyunca iskele gibi inşa edilmenin yanı sıra, körfez içinde, suyun derinliklerine ulaşan çıkıntılı payandalar şeklinde inşa edilmiştir. Yapıların büyük bir çoğunluğunun birbirleriyle bağlantılı olduğu düşünülmektedir.

8 MOLAUG 2012, 215

9 MCDONALD 2011, 42

10 HERTEIG 1990, 132-133



Fig. 5: Oslo'nun Rönesans limanının kargo yükleme ve boşaltma işleri için iskele ve rıhtımlar, depo alanları ve satış ve ihracat amaçlı kereste yığınlarıyla nasıl görünebileceğine dair canlandırma. Büyük gemiler derin sularda (sağ tarafta) demirliken, tekneler ve küçük gemiler kargoları getirip götürmektedir. Bu çizim 2015 yılında yapılmıştır; 2019 yılında yapılan büyük bir kazıda liman yapılarının sağa doğru daha da devam ettiği gözlemlenmiştir. Çizim: O. A. Krogness, Kültürel Miras Müdürlüğü, Norveç Kültürel Araştırmalar Enstitüsü ve Norveç Denizcilik Müzesi.

Fig. 5: Visualisation of how the renaissance harbour of Oslo could have looked like with quays and wharfs for loading and unloading cargo, storage houses and timber stacks for sale and export. The larger ships have been anchored on deeper waters (to the right), while boats and small ships have brought the cargo back and forth. While this drawing was made in 2015, a large excavation in 2019 showed that the harbour constructions continued further to the right. Drawing: O. A. Krogness, Directorate of Cultural heritage, Norwegian institute of cultural research and the Norwegian Maritime Museum.

Diğerleri ise üzerinde ardiyesi olan veya olmayan ayrık yapılardır. Yangından zarar görmüş tahıl, tuğla, değirmen taşları, yapı taşları, toprak künkler¹¹ ve seramiklerden oluşan çok sayıdaki buluntu, Ağustos 1624'deki büyük yangının gerçekleştiği noktada farklı yerli ve yabancı malların yükleme ve boşaltmasının yapıldığı yoğun bir liman olduğu izlenimini vermektedir. 1624 yılındaki yangına ek olarak limanda, 1532 ve 1567 yıllarındaki bilinen geçmiş yangınlar olduğunu düşündüğümüz en az iki başka yangına dair bulgulara rastlanmıştır.¹²

Rıhtımlar yaklaşık olarak batıklarla aynı zamana tarihlenmektedir. En eski yapıların bazıları 1500'lerde, bazıları ise 1624 yılındaki yangında harap olmuştur. Yangınlardan sonra depolama için daha fazla yere gerek duyulduğunda, limanın koşulları kötüleştiğinde ve su iyice sığlaştığında yeni rıhtımlar inşa edilmiş veya eskileri tamir edilmiştir. Su derinliğinin sürekli olarak azalması ağırlıklı olarak çeşitli nehirlerin alüvyonlarla dolmasından, atık ve safra atılmasından kaynaklanmıştır.

RIHTIMLAR İLE BATIKLAR ARASINDAKİ BAĞLANTI

Söz konusu 28 batığın hepsi rıhtımların yanında, yakınında veya kısmen ahşap yapılarla kaplanmış halde bulunmuştur (Fig. 1).

Batıklar kısa bir süre içinde hava geçirmeyen deniz tabanı çökeltileriyle kaplanmıştır. Batıkların hızlı bir şekilde gömülmesi gemi ahşaplarının fiziksel ve biyolojik açıdan bozunmasını azaltmıştır.

The process from excavation to exhibition is a lengthy process, when it involves waterlogged ship timbers. The Barcode boats found in 2008-2009 are still partly undergoing conservation, and the latest ship finds are still awaiting treatment.

The conservation, copy building, and exhibition of the boats Barcode 6 and Barcode 8 show how we work to gain and spread knowledge of Oslo's renaissance fleet.

OSLO HARBOUR IN THE 16TH CENTURY AD

The old Oslo harbour in the Bjørvika bay dates back to the medieval era, and is naturally shallow, with a number of smaller rivers and streams causing further silting. The oldest wharf constructions found so far are made of timber caissons of horizontally laid round timbers and dates back to 1199 AD.⁸ As of the 14th century AD, a continuous expanding wharf can be observed, ending with the devastating town fire of 1624 (Fig. 5).

The excavated timber wharfs from the 16th and early 17th centuries are all of 'cobb type'⁹, consisting of box-shaped frames of openly constructed, horizontally laid round timber, with notched corners much like log houses (Fig. 6). The open constructions do not allow the wharfs to contain fine infill, and we have no evidence that they were sunk using, for instance, larger stones like the medieval wharfs in Bergen on the west coast of Norway.¹⁰ Some of the wharfs were built on rafts or 'grillages' of round timber, while others lacked this feature. The materials used are mainly local spruce and pine.

The wharfs were built along the shoreline as quays, as well as projecting piers leading to deeper water out in the bay. The majority of the constructions are believed to have been interconnected, but others have been solitary constructions, with or without warehouses on top. The finds of bulks of fire-damaged grain, brick, quern stones, building stones, clay pipes¹¹ and ceramics gives a glimpse of a thriving harbour, busy with loading and storage of different local and imported goods, at the point of the devastating fire in August 1624. In addition to the 1624 fire, we found evidence of at least two other fires in the harbour interpreted to be the historical known fires of 1532 and 1567.¹²

The wharfs date to approximately the same time period as the shipwrecks. Some of the oldest constructions were destroyed in fires during the 1500s, and others in 1624. New wharfs were built or repaired after the fires, when there was need for more space for storage, and when the harbour conditions worsened, and the water became too shallow. The continuous decreasing of the water depth was mainly due to silting from several rivers, and dumps of refuse and ballast.

THE CONNECTION BETWEEN WHARFS AND SHIPWRECKS

The 28 shipwrecks were all found close to wharfs, nearby or even partly covered by the timber constructions (Fig. 1).

The shipwrecks were covered with airtight seabed sediments within a short period of time. The rapid burial of the wrecks reduced physical and biological deterioration of the ship timbers.

11 JOHANNESSEN 2016

12 SCHIA 1991, 157, NEDKVITNE - NORSENG 2000, 268

8 MOLAUG 2012, 215

9 MCDONALD 2011, 42

10 HERTEIG 1990, 132-133

11 JOHANNESSEN 2016

12 SCHIA 1991, 157, NEDKVITNE - NORSENG 2000, 268



Fig. 6: Sonraki iskele yapılarının altında kalan Bispevika 14 ve 15 teknelerinin *in situ* durumunun fotogrametrisi. Bu batıklar iskelelerin yapımından önce yanarak batmıştır.

Oslo’da saptanan batıklarla ilgili ilk teori daha önce açıklanan rıhtım yapılarına temel oluşturması amacıyla kasten batırılmış oldukları şeklindeydi. Oslo’daki toprak koşulları ve ağır rıhtım yapılarının batma eğilimi nedeniyle geçerli bir teori olsa da, ampirik bulgular daha karmaşık açıklamaların bulunması gerektiğini göstermektedir. Her batığın bağlamı diğerlerinden farklılık göstermektedir; tek bir olay ya da bir sürecin sonucu değildir. Bu da Oslo limanının gelişimi konusunda tarihsel bir anlayış yaratacak bir bulgu olarak durumu daha da ilginç hale getirmektedir. İlk yorumlar bazı teknelerin alanda aslında gemilerden kurtulmak için kaza yaptığı, diğerlerinin de büyük bir olasılıkla limanın genişleme alanlarını doldurmak için kullanılmış olduğu, yanmış durumdaki teknelerin ise demirlenmiş bir şekilde yatık bulunduğu ve kazara battığı yönündedir. Sadece yanmış durumdaki gemiler battıkları rıhtımla doğrudan ilişkilendirilebilir; ancak çoğunun Oslo sakinlerine ait olması olasıdır. Tekne ve gemilerin bir arada bulunması yaklaşık 100 yıllık bir dönemde küçük taşıtlardan oluşan yerel bir filo ya ait temsili bir görüntü vermektedir.

YAPIM ALANINDAN SERGİ VE YENİDEN YAPIMA KADAR UZANAN UZUN VE DOLAMBAÇLI YOL

NMM’nin Oslo limanı batıklarında yaptığı kurtarma kazıları 15 yıldır neredeyse kesintisiz olarak devam etmektedir. Bu dönemde yeni teknolojilerin ortaya çıkması ve personelin daha fazla deneyim kazanmasıyla birlikte kazı, belgeleme ve konservasyon alanlarında yeni yöntemler keşfedilmiştir. Sahada belgeleme yapma şeklimiz, kazı sonrası aşamada bulguları belgeleme ve yeniden yapım şeklimiz ve ahşapların konservasyonunu yapma yöntemlerimizde değişiklikler olmuştur. Konservasyon söz konusu olduğunda konservatörlerimizin edindiği bilgiler maliyetleri nedeniyle hepsinin tam anlamıyla korunmasının istenmediği ya da mümkün olmadığı büyüklükteki bir materyal yığını içinde makul öncelikler saptamamızı sağlamıştır. Bir bulgunun bilimsel veya eğitimsel değerini belirleyip sonrasında uygun konservasyon seviyesini seçmek önemli bir görev haline gelmiştir.



Fig. 6: Photogrammetry of *in situ* situation of the boats Bispevika 14 and 15 underneath later wharf constructions. These wrecks burnt and sank before the construction of the wharfs.

An initial theory was that the vessels in Oslo had been intentionally sunk to provide foundations for the previously described wharf constructions. While this is a viable theory due to the soil conditions in Oslo, and the tendency of heavy wharf constructions to sink, the empirical evidence shows that more complex explanations must be explored. Every shipwreck's context differs from the others, and is not the result of one incident or one process. This makes them even more interesting, as evidence to create an historical understanding of the development of the Oslo harbour. The preliminary interpretation is that some boats seems to be wrecked on site mainly to get rid of the vessel, others have more likely been used to fill in expansion areas of the harbour, while the burned boats are found where they lay anchored, and accidentally sank. Only the burned vessels can be directly connected to the accurate wharf they sunk at, but it is likely that the majority belonged to the citizens of Oslo. Together the collection of boats and ships gives a representative picture of the local fleet of smaller vessels, covering approximately 100 years.

THE LONG AND WINDING ROAD FROM THE CONSTRUCTION SITE TO EXHIBITION AND RECONSTRUCTION

NMMs salvage excavations of the Oslo harbour shipwrecks has been going on more or less continuously for 15 years. During this period, new methods for excavation, documentation and conservation have developed, with the introduction of new technology, and as the staff has gained more experience. Methods have changed, with how we do the documentation in the field, how we document and reconstruct the finds in the post-excavation phase, and how we proceed with the conservation of the timbers. When it comes to conservation, the gained knowledge of our conservators has enabled us to make reasonable priorities within a material so huge, that a complete conservation of the totality is neither wished for nor possible due to the costs. It has become an important task to evaluate the scientific or educational value of a find, and choose the suitable level of conservation thereafter.

KALEMDEN DİJİTAL ÇİZİME VE EL TARAYICILARINA KADAR 1:1 BELGELEME

Batık ahşapları müze alanında mümkün olan her yerde kapalı ve açık havaya yerleştirilen büyük su tanklarında tutulurken 1:1 belgeleme yapılmakta ve konservasyon için bekletilmektedir. Burada amaç, seçilen konservasyon seviyesinden bağımsız olarak ahşapların tümünün belgelenmesidir.

NMM, 2007 yılından beri ileride yapılacak araştırmalara bilgi aktarmak ve batıkların dijital ve fiziksel rekonstrüksiyonunu yapabilmek amacıyla *FARO-Arm* (CMM – *Coordinate Measuring Machine*) adlı dijital bir çizim cihazı kullanarak batıklardan çıkarılan ahşapların her birini belgelemiş durumdadır.¹³ Ancak, geçen sene, yani 2019 yılında müze bir el tarayıcısı (*Artec Eva*) kullanmaya başlamıştır.¹⁴ *FARO-Arm* temasla sayısallaştırma yöntemi adı verilen bir yöntem iken, tarayıcı (*Artec Eva*) malzemeye dokunmadan veri kaydı yapmaktadır. Konservasyon açısından ikinci yöntem tercih edilebilir. Yine de söz konusu iki yöntem yani *FARO-Arm* ve tarayıcı, temelde farklı yaklaşımlar sunmaz; her ikisi de Rhinoceros yazılım programındaki renkli tabakalama sistemi yardımıyla ahşapların önemli özelliklerinin belgelenmesi ve yorumlanması ana fikrine dayalıdır.¹⁵ Her renk belirli bir özelliği temsil eder; bu sayede farklı kurumların çizimleri aynı şablonu kullanarak okumasını olası kılar. İkinci yöntemin birinciye göre sağladığı avantaj sadece özellikler ve ana hatları yorumlamanın dışında ahşabın yüzeyini de kaydedilme ve gösterebilme (nokta bulutu yüzey) becerisidir. Taranan yüzeyde gözlenen önemli özellikler tarayıcı üzerinde doğrudan *annotation* (ek açıklama) kullanılarak renkli çizgiler halinde takip edilebilir. Bu şekilde kaydedicinin materyal üzerindeki aktif görevine ideal bir şekilde devam etmesini sağlayarak, sadece objektif bir betimleme oluşturmakla kalmayıp, aynı zamanda ahşapta sıklıkla belirsiz ve muğlak izlerle ilgili temel açıklamalar da getirmeye yardımcı olduğunu düşünüyoruz. Kayıtın kendisi de hızlı bir süreçtir, ekipman ise hafif ve laboratuvarın dışında da kullanımı kolaydır. Buna ek olarak, konservasyon amacına yönelik olarak yüzey bilgilerini “fotogerçekçi”, hatta doğru şekilde sakladığından tarama yönteminin avantajları bulunmaktadır. Kültürel tarihin hepsi alet izleri, bağlantı elemanları, kalafat ve yıpranma ve aşınma gibi yüzeylerde saklandığından bu avantaj önemlidir. Yapılan tarama ahşap yüzeylerin hem çekme derecesi hem de korunması söz konusu olduğunda konservasyon sürecinin sonuçlarının değerlendirilmesini kolaylaştıracaktır.

13 RAVN *Et al.* 2011, FALCK 2014, FALCK vd.. 2014

14 Yöntem Marsilya’da 2018 15. Uluslararası Gemi ve Tekne Arkeolojisi Sempozyumu sırasında iki ayrı makale olarak sunuldu. VAN DAMME, T.: Mass Documentation of Archaeological Ship Timbers: Introducing a Novel, Time-Efficient Approach, and DITTA, M. & AUER, J.: The ‘Big Ship’ of Wismar. A Well-preserved 12th-Century Cargo Vessel in the Harbour of Wismar.

15 JONES 2007

1:1 DOCUMENTATION FROM PEN TO DIGITAL DRAWING TO HANDHELD SCANNERS

The ship timbers are kept wet in large water tanks placed indoors and outdoors everywhere possible within the museum’s area, while undergoing 1:1 documentation and awaiting conservation. The goal is for all the timbers to be documented, independently of the later level of conservation chosen.

From 2007 onwards NMM documented every timber from the shipwrecks using a digital drawing device, a *FARO-arm* (CMM – *Coordinate Measuring Machine*), to preserve information for future research, and to be able to make digital and physical reconstructions of the vessels.¹³ Last year, in 2019, however, the museum started to use a handheld scanner (*Artec Eva*).¹⁴ While the *FARO-arm* method is a so-called contact digitising method, the scanner records the data without the need to touch the material. From a conservational point of view, the latter is preferable. Still, the two methods, the *FARO-arm* and the scanner, do not represent two fundamentally different approaches, but build on the same idea of documenting and interpreting the key features of the timbers, with the aid of a coloured layering system in the software *Rhinoceros*.¹⁵ Each colour represents specific features, making it possible to read the drawings across institutions, using the same template. The latter method’s advantage over the first is the capability of also recording and representing the surfaces of the timber (point cloud surface), not merely the interpreted features and outline. The key features observed on the scanned surface are traced as coloured lines using *annotation* directly on the scan. In this manner, we believe that we continue the ideal of the recorder’s active engagement in the material, not only producing an objective representation, but also adding the essential interpretations of what are often vague and ambiguous traces in the wood. The recording process itself is also faster, and the equipment lighter and easier to use outside the laboratory. In addition, for the purpose of conservation, the method of scanning has advantages, as it stores the information of the surfaces in a ‘photoreal’ and even accurate manner. This is important, as all the cultural history is stored in the surfaces, like toolmarks, fastenings, caulking, and wear and tear. The scan will make it easier to evaluate the results of the conservation process, both when it comes to degree of shrinkage and preservation of the surfaces.

13 RAVN *Et al.* 2011, FALCK 2014, FALCK *et al.* 2014

14 The method was presented in two separate papers during the 15th International Symposium on Boat and Ship Archaeology, Marseilles 2018. VAN DAMME, T.: Mass Documentation of Archaeological Ship Timbers: Introducing a Novel, Time-Efficient Approach, and DITTA, M. & AUER, J.: The ‘Big Ship’ of Wismar. A Well-preserved 12th-Century Cargo Vessel in the Harbour of Wismar.

15 JONES 2007

KONSERVASYON – DOĞRU KARARLAR NASIL ALINIR?

GEMİ AHŞAPLARININ DURUMU

Barcode ve B3/B7 batıkları günümüzdeki yüzeyin 3-7 metre altında bulunmuştur. Batıkların hepsi ilk başta suya batmış ve deniz tabanındaki kil çökeltilere gömülmüştür. Battıktan sonra hızla Bjørvika'nın dere ve nehirlerinde biriken alüvyonların neden olduğu çökelti ve killere kaplanmış, elverişli anaerobik koruma koşulları oluşmuştur. Bazı tekne ve gemiler gövdesinin önemli bir kısmı sağlam durumda bulunurken, bazıları ya çürüme nedeniyle ya da taşıt battığında zaten parçalanmış durumda olduğundan veya yangında hasar gördüğü için daha dağınık durumda bulunmuştur. Gemilerde gözle görülebilir kargo bulunmamıştır, ancak bazılarında safra taşları bulunmuştur. Batıkların hiçbirinde direk ya da kürek yoktur, küçük gemilerin bazılarında sadece güvertelerin dağılmış parçaları bulunabilmiştir. Ayrıca gemilerin birkaçında orijinal olarak aynalık bulunmasına rağmen, sadece bir tane korunmuş durumda aynalık saptanmıştır. Sintine pompası, çamur kutusu gibi ayrıntılar ve diğer ekipmanlar ya unutulmuş ya da çıkarılacak kadar önemli görülmemiş bir şekilde çeşitli gemilerin içinde bulunmuştur. Buluntu yeri bazı gemilerin 'katledilerek' kasten batırıldığını, bazılarının ise yaşı nedeniyle battığını, bazılarının ise yangın hasarı nedeniyle battığının bariz olduğunu göstermektedir.

Ahşabın durumu teknedeki tekneye değişebildiği gibi, aynı tekne içinde de değişkenlik göstermektedir, ancak genel anlamda yüzey öz kısmından daha kötü durumdadır. Barcode ve B3/B7 buluntularında çoğunlukla meşe olan suya doymuş ahşap normalde en çok dış tabakalarda bozulur, bu da ahşabın bu noktalarda daha düşük yoğunlukta olmasına neden olur. Ortaya çıkan hasar; deniz kurdu (*Teredo navalis*) ve su burgusu (*Limnoria lignorum*), mantar, mikroorganizmalar ve bakteriler gibi tahta yiyen böceklerin¹⁶ yanı sıra çökelti buluntuları su geçirmez hale getirilmeden önce sudaki oksijene maruz kalmaktan da kaynaklanır. Öte yandan, ahşabın öz kısmı genellikle 'taze' ve şaşırtıcı derecede iyi korunmuş durumda görünüme sahiptir.

Oslo limanındaki kazılara başlamadan önce konservasyon ekibimizin saklama ve sergileme amacıyla suya doymuş ahşapların sabitlenmesi konusunda hâlihazırda yeterli uzunlukta deneyimi vardı; ancak Oslo projelerinde ortaya çıkan materyalin büyük ölçekli olması beraberinde büyük sorunlar doğurmuştur. Bu sorunlar birçok açıdan kendini göstermiştir. Müzelerin her birinde sınırlı miktarda boş alan bulunmaktadır ve ıslak gemi ahşapları çok yer kaplamaktadır. Ayrıca koruma işleminin bir de ekonomik boyutu bulunmaktadır; kaynaklar var olsa da sınırlıdır. Son ve en önemlisi zaman hızla akıp gitmektedir. Konservasyon için sıraya giren suya doymuş ahşap bozulmaya devam edecektir, ancak yer ve kaynak kısıtlılığı tekneler kurtarıldıktan hemen sonra işlemlere başlayabilmemizi önlemektedir.

CONSERVATION – HOW TO MAKE THE RIGHT DECISIONS?

THE STATE OF THE SHIP TIMBERS

The Barcode and B3/B7 shipwrecks were found 3-7 metres under today's surface. All of them were originally deposited in water and rested in seabed clay sediments. After they sunk, they were rapidly covered by silt and clay caused by the silting of Bjørvika's streams and rivers, creating favourable anaerobic preservation conditions. Some of the boats and ships were found with all major parts of the hull intact, others were more fragmented, either because of decay, or because the vessel was already fragmented when it was deposited, or because of fire damage. The ships were found emptied of any visible cargo, but ballast stones were found in several vessels. None of the wrecks had masts or oars preserved, and only fragmented parts of the decks could be found on some of the small ships. We also have only one complete transom preserved, although several of the vessels originally had transoms. Details like bilge pumps, bailers and other equipment were found aboard several of the vessels, either forgotten or not considered important enough to remove. The find situation indicates that some of the vessels were 'slaughtered' and deliberately sunk, others sunk due to old age, while some obviously sank because of fire damage.

The condition of the wood varies from boat to boat, as well as throughout one boat, but in general, the surface is more deteriorated than the core. Waterlogged wood, mainly oak in the Barcode and B3/B7 finds, is normally most heavily degraded in the outer layers, resulting in low density of the wood there. The damages are a result of wood borers like wood worm (*Teredo navalis*) and gribble (*Limnoria lignorum*), fungus, microorganisms and bacteria¹⁶, but also the exposition to the oxygen in the water, before sediments sealed the finds. On the other hand, the inner core of the wood often appears as 'fresh' and in a surprisingly good state of preservation.

Before the excavations in Oslo harbour started, our conservation staff already had long experience in stabilizing waterlogged timbers for storage and exhibition, but the massive scale of the material from the Oslo projects presented major challenges. The challenges come from many angles. Every museum has a limited amount of space available, and wet ship timbers take up a lot of space. There is also an economic side to the preservation; the resources are there, but they are limited. And finally, but importantly, the clock is ticking. When in a queue for conservation, waterlogged timber will continue to deteriorate, but the limitation of space and resources prevent us from being able to start the processes immediately after the boats are rescued.

DÖRT DÜZEYDE KORUMA

Proje ekibi dört düzeyde koruma uygulaması yapmaya karar vermiştir (Fig. 7, mavi kareler). En yüksek düzey (en pahalı ve en çok zaman alan) ahşapların hepsine PEG emdirme ve kalıplar içinde dondurarak kurutma işleminin uygulandığı sergi amaçlı konservasyondur (Fig. 8).¹⁷ Bu yöntemle ahşap en uygun şekilde sabitlenerek iyi bir yüzey bırakılır ve kalıplar içinde dondurarak kurutma işlemi ahşapların şeklinin bir zamanlar gemi yelken açtığı zamandaki şeklinde hem stabil hem de ‘donmuş’ veya kenetli durumda kalmasını sağlar.

İkinci en iyi mevcut çözüm PEG emdirme işleminin ardından kalıp kullanmadan dondurarak kurutma yöntemidir (ahşaplar donduruculu kurutucuda dümdüz hale getirilir). Sonuçta, yüzeyleri korunmuş sabitlenmiş ahşap elde edilir, ancak şekil değişecekse ahşapların tekrar eski şeklini alacak şekilde bükülmesi olasılığı kısıtlıdır. Bu durum kurutularak dondurulduktan sonra malzemenin kırılğan hale gelmesinden kaynaklanmaktadır.

FOUR LEVELS OF PRESERVATION

The project team decided to go for four levels of preservation (Fig. 7, blue squares). The highest (most expensive and time consuming) level is conservation for exhibition with all timbers PEG impregnated and freeze-dried in moulds (Fig. 8).¹⁷ This method stabilises the wood in an optimal way, leaves a good surface, and the freeze-drying in moulds makes sure the timbers shape is both stable and ‘frozen’, or locked, in the shape it once had when the vessel was sailing.

The second-best solution available is PEG impregnation followed by freeze-drying without using moulds (the timbers flattened out in the freeze dryer). The result is a stabilised wood with preserved surfaces, but with limited possibilities for bending the timbers back into their original shape if the shape is altered. This is due to the brittleness of the material, after being freeze-dried.

Kazı sonrası dokümantasyon ve rekonstrüksiyon evreleri

Phases of post-excavation documentation and reconstruction



Suya doymuş ahşabın seviyeleri

Levels of conservation of waterlogged timber

Fig. 7: Kazı-sonrası belgeleme ve rekonstrüksiyon evreleri (yeşil halkalar) ve suya doymuş ahşap konservasyonunda dört düzey (mavi kareler). Solda ortada; Barcode 8'in kazı çizimi, sağda; deneme serginin canlandırılması, Barcode 8 ortada olacak şekilde. Bu planın daha sonraki bir revizyonunda batık, cam bir stant içinde değil açık bir kızakta yer almaktadır. Görsel: T. Falck/NMM, mimari canlandırma: Kaels studio AS

Fig. 7: Phases of post-excavation documentation and reconstruction (green circles), and four levels of conservation of waterlogged timber (blue squares). In the middle left; excavation drawing of the Barcode 8, right; visualisation of tentative exhibition, with the Barcode 8 as a centre piece. A later revision of this plan places the shipwreck in an open cradle, not a glass stand. Illustration: T. Falck/NMM, architects visualisation: Kaels studio AS



Fig. 8: Donduruculu kurutucuda altı ayını henüz tamamlayan Barcode 6 borda kaplamaları. Kaplamaların çoğu kontrplaktan yapılmış olan kalıplara monte edilmiştir. Kalıplar teknenin dijital olarak ölçülen ölçekli maketine dayanarak şekillendirilmiş olup, kaplamaların taşıtın kullanımda olduğu zamandaki orijinal şeklini göstermektedir. Fotoğrafta ayrıca iyi bir sirkülasyon sağlayan açık raf sistemi gösterilmektedir. Fazlalık olan beyaz PEG ısıtma yoluyla temizlenecektir. Foto: NMM

Fig. 8: Planks from Barcode 6 just finished six months in the freeze dryer. Most planks are mounted in moulds made from plywood. The moulds are shaped based on the digitally measured scale model of the boat, and are representing the original shape of the planks when the vessel was still sailing. The photo also shows the open shelving system, securing a good circulation. The white excess PEG will be removed with heating. Photo: NMM

Elimizde tek bir donduruculu kurutucu bulunduğu için oluşan kapasite sorunları nedeniyle önemli sayıda batık ahşabına sadece PEG emdirme yöntemiyle korunma uygulanacaktır. Üçüncü düzeydeki bu tip koruma daha düşük nitelikte stabilizasyon sağlasa da, yine de tatmin edici olacaktır. Yüzeyler koyu ve mumlu olacak, ahşap yine ağırlık kazanacak, ancak teorik olarak PEG emdirilmiş kalıntıları gerektiğinde hafifçe eğip bükme olası olacaktır.

Dondurarak kurutma cihazı kullanma seçeneği söz konusu olmadığında PEG emdirilmiş gemi ahşaplarını soğuk bir ortamda yavaş yavaş kurutmak da bir seçenektir, bu yöntem MS 1665 Sörenga 7 batığında kabul edilebilir sonuç vermiştir.¹⁸

Dördüncü düzeyde bazı örneklerde batığın parçalarının veya tümünün imhası seçilir. Bu örneklerde buluntunun bilimsel değerinin dijital belgeleme yoluyla yapılmış olması ve ileride sergilemek için katma değerinin çok düşük bir nesne olduğu göz önünde bulundurulmaktadır.

Because of capacity problems, with one freeze dryer available, a considerable amount of ship timber will be conserved with PEG impregnation only. This third level of conservation will lead to a stabilising of a lesser quality, but still satisfying. The surfaces will be dark and waxy, the wood will gain weight, but it is in theory possible to bend the fully PEG-impregnated timbers slightly if needed.

The slowly drying of PEG-impregnated ship timbers in a cold environment is an option when the use of a freeze dryer is not an option, and the method has been done with an acceptable result on the AD1665 shipwreck Sörenga 7.¹⁸

On a fourth level, the disposal of parts of or the whole shipwreck, is in some instances chosen. In these cases, we consider the scientific value of the find ensured through the digital documentation, and that the added value as an object for a future exhibition is very low.

Bu üç yöntemden hangisi seçilirse seçilsin işlemler tamamlandıktan sonra maliyet ve alan gereksinimlerinin devam ettiğini de eklemek gerekir. Konservasyon tamamlandıktan sonra uygun klima-kontrollü depolama tesisine duyulan gereksinim büyüktür. Teknelerin büyük bir çoğunluğu ya tam PEG emdirme işlemi yoluyla ya da PEG ve kalıp kullanmaksızın dondurarak kurutma yöntemi bir arada kullanılarak korunacaktır. Kararlar teknenin eşsizliğine, temsil edebilirliğine, gemi ahşaplarının durumuna ve batığın bütünlüğünün değerlendirilmesine bağlı olarak alınmaktadır. İki projede saptanan buluntuların korunma durumunu karşılaştırırken Barcode buluntularının B3/B7 buluntularından daha iyi korunmuş durumda olduğunu belirtmek gerekir. Bu da ikinci projede yer alan buluntulardan belgelendirme sonrasında daha fazlasının gözden çıkarılırken, Barcode projesinde daha fazla buluntunun uygun bir şekilde korunacağını göstermektedir.

Teknelerin sadece birkaç tanesi PEG emdirme işleminin ardından özel olarak üretilmiş kalıplarda dondurarak kurutma işleminden geçirilecektir. Bu işlem planı yapılan ve ileride sergilenmek amacıyla fon sağlanan teknelerle sınırlıdır; şu anda bu durum sadece iki batık için geçerlidir: Barcode 6 ve Barcode 8. Barcode 6 hâlihazırda rekonstrüksiyonu yapılmış durumda sergilenmektedir; Barcode 8 ise *in situ* durumdaki bir batık olarak 2021 yılında sergilenecektir. Buna ek olarak, Barcode 6'nın tam ölçekli bir yelkenli kopyası olan, ilk denemesi yapılmış *Vaaghals*, NMM tarafından inşa edilerek 2011 yılında suya indirilmiştir.

BARCODE 6

Suya doymuş batık bulgularını sergileme kararı alınırken göz önünde bulundurulması gereken bir dizi konu vardır; bu, süreçte yer alan herkes açısından zaman alıcı ve zorlu bir süreçtir. Batık ne durumda sergilenmeli, batığın rekonstrüksiyonu aslına uygun olarak yaptığımız yoruma göre mi inşa edilmeli, eksik parçalar tamamlanmalı mı, destekleyici elemanlar, çelik cıvatalar ve kaburgalar görünür mü olmalı yoksa gizlenmeli mi gibi üzerinde durulması gereken önemli sorulara yanıt bulmak gerekir. Barcode 6 sergilenecek olan ilk Oslo batığıydı ve sergilenmesine kadar yaşanan süreç suya doymuş ahşapların sunduğu olanaklar ve kısıtlamaları anlama düzeyimize katkı sağlamıştır.

It should be added that the costs and space requirements continue after finishing treatment, independently of what method 1-3 is chosen. The need for proper climate-controlled storage facilities after finished conservation is tremendous. The majority of the boats will be preserved either through full PEG-impregnation or with the combined PEG and freeze-drying method without using moulds. The decisions are made based on an evaluation of the vessel's uniqueness, representativeness, the condition of the ship timbers and the completeness of the wreck. It is worth mentioning that when comparing the state of preservation of the finds in the two projects, it is clear that the Barcode finds are better preserved than the finds from B3/B7. This implies that more of the finds from the latter project will be discarded after documentation, while more finds will be properly conserved from the Barcode project.

Only a few of the boats will be PEG-impregnated followed by freeze-drying in purpose-built moulds. The treatment is restricted to boats with a plan and funding for a future exhibition; for now, this only applies to two vessels – Barcode 6 and Barcode 8. Barcode 6 is already exhibited in a reconstructed state, while Barcode 8 will be exhibited in 2021 as a wreck reflecting its *in situ* state. In addition, a full-scale sailing copy of Barcode 6, baptised *Vaaghals*, was built by NMM and launched in 2011.

BARCODE 6

The decision to exhibit waterlogged ship finds leads to a chain of considerations, and the process is time consuming and challenging for all partakers. There are crucial questions to consider, like in what state should the wreck be presented? Should the vessel be reconstructed to our interpretation of its original shape? Should missing parts be added? Should the supporting structures, steel bolts and frames be hidden or visible? Barcode 6 was the first Oslo boat to be exhibited, and the process towards the exhibition has raised our level of understanding of the possibilities and limitations held by waterlogged ship timbers.

BARCODE 6 TEKNEŞİ

Barcode 6 nispeten büyük tekne sınıfına giren bindirme kaplamalı bir deniz taşıtıdır. Rekonstrüksiyonunun gövde uzunluğu 7,7 m iken, küpeşte hizasındaki en geniş yerin 2,9 m olduğu tahmin edilmektedir. T-şekilli bir omurga üzerine inşa edilen gemi kavisli bir pruvaya ve aynalığa sahiptir. Teknede birbirini kısmen ahşap çivilerle kısmen de perçinli demir çivilerle tutan dokuz adet borda kaplaması vardır (Fig. 9). Ağırlıklı olarak meşeden (*Quercus sp.*) imal edilmiştir, ancak kaburgalar kısmen meşe ve çamdır (*Pinus sp.*). İç karina ve kürek ıskarmozlarının varlığı teknenin hem yelkenle hem de kürekle yol aldığını göstermektedir. Ahşaplar dendrokronolojik olarak MS 1595 yılına tarihlenmekte olup¹⁹, büyük bir olasılıkla Güney Norveç kökenlidir. Tekne en az bir kez kapsamlı bir yeniden yapıma uğramış, normal bir kış bodoslamasından aynalık sahibi olacak şekilde oldukça radikal bir değişim geçirmiştir. Bu bulgu sözü konusu tekneyi aynı yerde bulunan diğer teknelerle birlikte Norveç'te aynalık bulunan bilinen en eski gemi yapmaktadır. Barcode 6'nın teknesinin kargo kapasitesini artırmak amacıyla yeniden inşa edilmiş olması olasıdır.

KONSERVASYON HAZIRLIKLARI

Kazı sonrası evrede 216 metre ahşap dijital olarak belgelenmiştir. Borda kaplamalarının orijinal şekli 1:5 ölçekli bir maketten tahmin edilmiştir. Makette düzlenen kaplamalar baş bodoslaması, aynalık, karina ve kaburgaların yanı sıra birbirine uyacak şekilde yeniden bükülmüştür. FARO-Arm kullanılarak nihai maket dijital hale getirildiğinde her bir parçanın şekli dijital bir makette yeniden tanımlanabilmiştir (Fig. 10). Dijital maket ahşapları dondurarak kuruturken sabit şekillerin içine kenetleyecek kalıplar yapmak amacıyla kullanılmıştır.

PEG EMDİRME İŞLEMİ

Barcode 6 batığının 1:1 belgelenmesinin ardından koruma işlemine başlanmıştır; ahşabın şekli, hacmi, yüzeyindeki alet izleri ve aşınma izlerinin yanı sıra görsel görünümü korunurken, kurutulması amaçlanmıştır. Konservatörler ahşapları polietilen glikol emdirme (PEG) ve vakumlu dondurarak kurutma yöntemlerini bir arada kullanarak sabitlemeyi tercih etmişlerdir. PEG suda çözünebilen sentetik bir reçinedir. Suyu doymuş durumdaki ahşap, Barcode ve B3/B7 batıklarında ağırlıklı olarak meşe, normalde dış katmanlarda daha ağır şekilde bozunur, bu da söz konusu bölgede ahşabın yoğunluğunun düşük olmasına neden olur.

¹⁹ DALY 2010a

THE BOAT BARCODE 6

The Barcode 6 is a lapstrake vessel, defined as a relatively large boat. The reconstructed length of the hull is 7.7 m, while the width is estimated to be 2.9 m at the gunwale amidships. It is constructed on a T-shaped keel and has a curved stem and a transom. The boat has nine strakes held together partly by wooden nails, and partly by clenched iron nails (Fig. 9). It is built mainly in oak (*Quercus sp.*), but the frames are partly in oak and pine (*Pinus sp.*). A keelson and the presence of rowlocks show that the boat has been both sailed and rowed. The timber is dendrochronologically dated to after AD1595¹⁹, and is probably of Southern Norwegian origin. The boat has undergone at least one major rebuild, changing it quite radically from having a straight stern post, to having a transom. This evidence makes it the oldest known boat in Norway to have a transom, together with other boats from the same site. It is likely that the rebuild of Barcode 6 was undertaken to increase the cargo capacity of the vessel.

PREPARATION FOR CONSERVATION

216 metres of timber were digitally documented in the post-excavational phase. The estimate of the original shape of the planks was acquired from the 1:5 scale model. In the model, flattened out planks were re-twisted to fit each other as well as the stempost, transom, keel and frames. By digitalising the finished model using the FARO-Arm, each part's shape could be re-defined in a digital model (Fig. 10). The digital model was used to make moulds, which would lock the timbers into fixed shapes while freeze-drying.

PEG IMPREGNATION

After the 1:1 documentation of Barcode 6, the preservation started, and aimed towards drying the wood while maintaining the shape, volume, tool marks and traces of wear on the surface, as well as the visual appearance of the wood. The conservators chose to stabilize the timbers with a combination of polyethylene glycol impregnation (PEG) and vacuum freeze-drying. PEG is a synthetic wax soluble in water. Waterlogged wood, mainly oak in the Barcode and B3/B7 boats, is normally most heavily degraded in the outer layers, resulting in low density of the wood there.

¹⁹ DALY 2010a



Fig. 9: Barcode 6'nın kaplamalarının içi, üç çiviyle "klinker uygulanmış" olan alt kenar perçinli demir çivilerle birleştiren kamalarla birlikte gösterilmektedir. Üst kenarda her şeyden önce perçinli demir çiviler sonrasında delikler bulunmaktadır. Açık kahve rengi noktalar tekneyi korumuş olan ve su geçirmez zift tabakasının kalıntılarıdır. Foto: K. Steen/NMM.

Fig. 9: Inside plank from Barcode 6, showing the lower edge that has been "clinkered" with tree nails with wedges combined with clenched iron nails. The top edge has primarily holes after clenched iron nails. The light brown spots are remnants of a layer of tar, that has protected, and watertightened the boat. Photo: K. Steen/NMM.

Çözünen reçine (bu örnekte moleküler ağırlık 2000; yani, PEG 2000) düşük yoğunluktaki ahşabın içine kolayca nüfuz ederek hücrelerin çökmesini ve ahşap yüzey tabakasının çatlamasını veya çekmesini önler. Ancak bu tür % 40 PEG emdirilmiş ahşabın atmosferik ortamda kurutulması tavsiye edilmez çünkü tam emdirilmediği sürece (% 80-90) suya doymuş ahşabın kuruduktan sonra oldukça sert ve esnek olmayan bir hale gelebileceği çok iyi bir şekilde belgelenmiştir.²⁰

Barcode 6 batığına asit geçirmez çelik bir tankta plastik kaplama ve kalıp levhalarından oluşan bir kapakla örtülerek emdirme işlemi uygulanmıştır. Tank strafor levhalarla dıştan izole edilmiştir. Emdirme işlemine, ahşabın özünün en iyi şekilde korunması amacıyla % 4 düşük moleküler PEG 200 ile başlanmıştır. İlk % 4'lük PEG 200 işleminin ardından çözelti % 40'a ulaşana kadar her 6 ayda bir %10 PEG 2000 ile artırılarak 6 ay daha bu şekilde tutulmuştur. PEG konsantrasyonlarının takibinde bir el refraktometresi kullanılmıştır. PEG banyosu gemi omurgasının ve bükülen bazı kaplamaların şekil almasını hızlandırmak amacıyla değişik günlerde üç kez neredeyse 60°C'ye kadar ısıtılmıştır.

DONDURARAK KURUTMA

NMM'nin vakumlu donduruculu kurutma cihazının çapı 1,2 m, uzunluğu ise 6,3 m'dir. Başlangıçta teknenin tümü için ayarlara -30°C'de (donduruculu kurutucudaki ısı sensörleri -40'ın altını gösterirken) başlayıp, daha sonra kaplamalar için 5-6 aylık, omurga ve daha kalın kısımlar içinse 9 aylık bir sürede

ısının küçük oranlarda kademeli olarak artırılması düşünülmüştür. Vakum ısıya göre değişkenlik göstermiştir, ancak tipik olarak $2,5 \times 10^{-1}$ ila $5,0 \times 10^{-2}$ mbar aralığında tutulmuştur.

Bindirme kaplamalı teknelerdeki kaplamalar, özellikle pruva, kış bodoslama veya aynalık gibi değişik yönlerde kıvrımlı ve şekillidir. Konservasyon işleminde yeniden yapılan gövdenin sergilenmesi hedeflendiğinde bu şekillerin tüm konservasyon işlemi süresi boyunca korunması çok önem taşımaktadır. Barcode 6 batığı ahşapları işlem sonrasında kıvrıldığında veya büküldüğünde sert, kırılman ve mekanik strese dolaylı hasar görmeye eğilimli olacağından bunlara dondurarak kurutma işleminden önce şekil verilmesi gerekmiştir. En zorlu parçalarla çalışmaya başlamadan önce ahşabı daha esnek hale getirebilmek için PEG banyosu 60°C'de ısıtılmıştır.

Donduruculu kurutma tankının içindeki alanın verimli kullanılması için tüm parçaların önceden tam yerleştirilmesini planlamak amacıyla yapılan donduruculu kurutma cihazı içerisindeki rafların kartondan yapılmış bir maketi ile kaplamaların tümünün 1:5 oranındaki karton maketleri çok işe yaradı. Donduruculu kurutma cihazını etkili bir şekilde doldurmak için yapılan ekstra işler harcanan zamana değmiş, işlem 6-8 kez yerine 5 keze indirilerek zamandan kazanılmıştır.

Raf sistemi ve profil kesitlerinin kullanılması donduruculu kurutma tankının içinde açık bir yapıya izin vermiştir; bu durum işlem sırasında etkili bir ısı ve enerji aktarımı elde etmek açısından önemlidir.

²⁰ CRONYN 1990: 258ff, HOFFMANN 2009

The dissolved wax (in this case with a molecular weight of 2000; that is, PEG 2000) penetrates easily into low-density wood, where it prevents the cells from collapsing and the wooden surface layer from cracking or shrinking. It is, however, not advisable to dry such 40% PEG-impregnated wood atmospherically, since it is a well-documented fact that waterlogged wood can become quite stiff and inflexible after drying, unless fully impregnated (80-90%).²⁰

Barcode 6 was impregnated in an acid-resistant steel tank, covered with plastic sheeting and a lid of formwork panels. The tank was insulated on the outside with Styrofoam sheets. The impregnation started with a 4% of the low molecular PEG 200 intended for the better-preserved core of the wood. Following the initial 4% PEG 200, the solution was increased with 10% PEG 2000 every 6 months until 40% was reached and kept for another 6 months. A handheld refractometer was used to monitor the PEG concentrations. The PEG bath was heated up to almost 60°C over several days on three occasions to facilitate the shaping of the keel and some of the more twisted planks.

FREEZE-DRYING

NMMs vacuum freeze dryer has a diameter of 1.2 m and a length of 6.3 m. It was initially thought to

require 6-8 turns for the whole boat, starting with the settings on -30°C (temperature sensors located in the freeze drier showing below -40), and gradually increasing the temperature in small steps over a period of 5-6 months for the planks, and 9 months for the keel and the thicker parts. The vacuum varied with the temperature but was typically within the range of $2,5 \times 10^{-1}$ to $5,0 \times 10^{-2}$ mbar.

The planks in lapstrake-built boats are twisted and shaped, often in several directions, especially towards the stem, sternpost or transom. When exhibition of the reconstructed hull is the goal for the conservation process, the retaining of these shapes throughout the whole process of conservation is vital. The wood of Barcode 6 had to be shaped before freeze-drying because it would be stiff and brittle and prone to damage from mechanical stress if it was twisted or bent after the treatment. The PEG bath was heated to 60°C in order to make the wood more flexible, before working with the most challenging parts.

For space efficiency inside the freeze dryer tank, a cardboard model of the shelves in the freeze dryer and cardboard models of all the planks in 1:5 was an appreciated tool to plan the exact placement of all parts in advance. The extra work invested into filling the freeze drier in an efficient manner paid off, and the process was reduced to five turns instead of 6-8, saving valuable time.



Fig. 10: Barcode 6'nın 1:5 ölçekli maketi arkeoloji personeliyle birlikte Lars Stålegård (tekne yapımcısı) ve Dr. Terje Planke tarafından yapılmıştır. Maket FARO-Arm ile kaydedilmiştir. Çizimler yapıyla dijital olarak çalışma olanağı sunmuştur ve ahşapların nasıl korunacağına karar vermede etkili olmuştur.

Fig. 10: The scale model of Barcode 6 in 1:5 was built by Lars Stålegård (boat builder) and Dr. Terje Planke together with the archaeological staff. The model was recorded with the FARO-arm. The drawings provided the possibility to work with the structure digitally, and was crucial to decide on how to conserve the timbers.

Her bir parçanın istenen şekli dijitalleştirilen karton makete göre belirlenerek omurganın kış tarafta ve pruvada düzlenip, bükülme ve kaldırılmasına, ortada ise düşürülmesine gerek olduğu gözlenmiştir. Rekonstrüksiyonun tümünde omurga temel olarak kullanılmıştır ve şekildeki ufak tefek hatalar tekne ahşaplarının yerleştirilmesine sıra geldiğinde komplikasyonlara neden olabilecektir. Hata muhtemelen teknede daha da artacak ve kaplama sıralarının birbirine oturtulmasında sorun yaşanmasına neden olacaktır. Bu da aynı şekilde eğrilerin yerleştirilmesinde hatalara yol açacaktır. Teknenin omurgasında yedi adet delik açarak omurgayı çelik bir kirişe cıvatalarla monte etme kararı alınmıştır. Paslanmaz çelikten kiriş, 100 x 10 mm ölçülerinde yassı çelik ve 60 x 40 x 4 mm ölçülerinde çelik kare borularla yapılmıştır (Fig. 11). Bunlar birbirine bağlanarak cıvataların her bir bağlantı noktasında kirişin her iki yanına çelik tuğlalarla kaynak yapılmıştır. Daha sonra çelik tuğlalara bir destek şasisi vidalanarak vida delikleri açılırken mastarı desteklemek ve kuruturken omurgayı çelik kirişe dayamak için kullanılmıştır. Delikleri açarken omurganın doğru pozisyonda tutulmasına dikkat etmek gerektiğinden her bir noktaya yönlendirme sağlamak amacıyla kontrplağın profil kesimleri yerleştirilmiştir. Bu da omurganın doğru yükseklik ve açıda tutulmasını sağlamıştır. Delikler açıldıktan sonra çelik manşonlar monte edilerek farklı uzunluklardaki çelik manşonlarla u-şekilli manşon omurgayı desteklemiştir. Bu çelik manşonlar u-şekilli manşonu doğru yükseklikte tutarak bunların üzerine yerleştirildiğinde omurgaya yeni kavisini vermiştir. Cıvatayı omurga ve destek sistemi boyunca monte ettikten sonra omurga yerine yassı bir çelik çubukla sabitlenmiştir.

SERGI İÇİN GÖVDENİN İNŞASI-3D BİR BİLMECE Mİ?

Elimizde şablon olarak Barcode 6 batığının karton maket ve özel olarak önceden-şekillendirilmiş tekne parçaları seti olunca teknenin rekonstrüksiyonunu yapmanın 3 boyutlu bir bulmacayı yeniden monte etmek gibi olacağını düşünmek kolaydı. Ancak maalesef üstteki kütlelerin ağırlığı suya doymuş tekne parçalarını yerinden oynatmıştı. Bu durum tekne parçalarını karton maket üzerinde birbirine takarken ortaya çıktı. Kaburgalardan birinin şeklinin kazı sırasında *in situ* olarak, kazı-sonrası evrede *FARO-Arm* ile ölçekli makette ve yine dondurarak kurutma işleminden sonra olmak üzere dört aşamada belgelenmiş olması şeklinin değişmiş olduğunu gösterdi. Bu da bu aşamalardan hangisinin asıl şekline en yakın olduğu sorusunu gündeme getirdi.

A shelving system and use of profile sections allowed for an open structure inside the freeze dryer tank, which is important in order to get an effective transmission of heat and energy during the process. The desired shape of each part was determined by the digitalised cardboard model, and showed that the keel needed to be straightened, twisted, lifted in the aft and bow, and lowered in the middle. The entire reconstruction uses the keel as a fundament, and minor errors in the shape could potentially lead to complications when it came to fitting the timbers of the boat. The error would probably increase higher up in the boat, and cause problems fitting the strakes together. This again would lead to errors concerning the fitting of the frames. The decision was made to mount the keel onto a steel beam with bolts through seven drilled holes in the keel. The stainless steel beam was made out of flat steel 100 x 10 mm, and a square tube of steel 60 x 40 x 4 mm (Fig. 11). These were fastened together, and steel bricks welded on both sides of the beam at each attachment point for the bolts. A support frame was then screwed to the steel bricks and used to support the jig when drilling the boltholes and anchor the keel to the steel beam while drying. It was important to keep the keel in the right position when drilling the holes, so profile sections of plywood were put in place at each point as a guidance. These gave the right height and angle of the keel. After drilling the holes, the steel sleeves were mounted and u-shaped steel with steel sleeves of different lengths supported the keel. These steel sleeves kept the u-shaped steel at the right height and gave the keel its new curve when it was placed on top of them. After mounting the bolt through the keel and support system, a flat steel bar secured the keel in place.

BUILDING THE HULL FOR EXHIBITION - A 3D PUZZLE?

Having the cardboard model of Barcode 6 as a template and a set of customized pre-shaped boat parts, it was easy to think that reconstructing the boat would be like reassembling a big 3D puzzle. Unfortunately, the weight of overlying masses had manipulated the waterlogged boat parts. This became clear when the boat parts were fitted together in the cardboard model. Documentation of the shape of one of the frames done in four stages, *in situ* during the excavation, with *FARO-arm* in the post-excavational phase, in the scale model, and once again with the *FARO-arm* after freeze-drying showed that the shape had changed. It raised the question which of these stages was closest to the original shape?



Fig. 11: Kıç tarafından görüldüğü şekliyle sergilenen Barcode 6 batığı. Ayarlanabilir tellerden oluşan bir iç sistemle sabitlenen özel yapım paslanmaz çelik çerçevelerden yapılan destek sistemi görülmektedir. Sağda yer alan omurgadır. Omurganın destek sistemi tüm sistemin sağlamlığının temelini oluşturmaktadır. Foto: NMM

Fig. 11: The Barcode 6 boat on display, seen from the aft. It shows the support system made from custom made stainless steel frames which is fastened by an internal system of adjustable wires. To the right is the keel. The support system for the keel construct the basis for the solidity of the whole system. Photo: NMM

Tekne yapımı omurganın döşenmesiyle başlar. Aynı şey arkeolojik bir teknenin rekonstrüksiyonu için de geçerlidir. Kaplamaların tersine omurga çelik kirişten asla sökülmemiştir; kuvvetini ve gerilimini korumuştur, sökülseydi eski haline döndürmek mümkün olmazdı. Omurga yerleştirildikten sonra pruva, kıç ve borda kaplamaları yerlerine oturtulabildi. Rekonstrüksiyon çalışması teker teker yapılabilirdi; donduruculu kurutucunun hazır olmasını beklerken ve daha fazla yapım parçası sağlanması için gerekli molalar verildi.

Ahşabın sağlam bir özü olduğundan kaplamaların kuruduktan sonra bile eğilip bükülme olasılığı bulunmaktadır. Kuruduktan sonra yanlış şekil almasından kaçınmak için donduruculu kurutucudaki iç düzeneğin aynısından ahşap bir donanım oluşturuldu. Asılı durumdaki kaplamalar donduruculu kurutucudan doğrudan bu donanıma aktarılacak şekilde transfer ve yüzeydeki fazla PEG'in temizlenmesi amacıyla serbest bırakıldı. Bu işlem kaplamaları tekneye bağlama zamanı gelinceye kadar şekillerini korumak amacıyla yapıldı.

The building of a boat starts with the laying of the keel. The same goes for reconstructing an archaeological boat. Unlike the planks, the keel was never released from the steel beam; it retained strength and tension and if released, it would have been impossible to return it. Once the keel was in place, the stem, stern and the strakes could be positioned. The reconstruction work took place bit by bit, with required pauses awaiting the freeze-dryer to be ready and provide more building parts. Because the wood had a sound core, there was a chance that the planks would twist and bend even after drying. To avoid misshaping after drying, a wooden rig was set up mirroring the interior setup in the freeze dryer. The suspended planks were moved directly from the freeze dryer to the rig and was only released for the transfer, and cleaning of excess PEG from the surface. This was done to retain the shape until it was time to fasten them in the boat.

Kaplamalar orijinal ahşap çivilerin yerine aside dayanıklı çelikten yapılma modern cıvatarlarla orijinal çivi delikleri yeniden kullanılarak bir araya getirilmiştir. Kaburgalardaki orijinal deliklerin bazıları kaplamalardakilere uymuş ve kaplamaların doğru pozisyonunda durmasına yardımcı olmuştur. Gövde aside dayanıklı çelikten yapılma tam anlamıyla uygun dış çubuklarla desteklenerek omurganın altındaki çelik kirişten dördüncü borda kaplamasına saplanmıştır. Teknenin tüm ağırlığını taşıyacak destek tertibatı yapılmıştır. Dış destek ayakları sergilendiğinde görüntüyü bozduğundan bunları minimum seviyede tutmaya çaba gösterilmiştir. Sürecin bu bölümünden Viking gemi müzesinden bir uzman, Ragnar Løchen (Oslo Üniversitesi) sorumluydu, uzmanlığıyla ekibe değerli katkılar sunmuştur.

Gövdenin eksik bölümlerini açık bırakıp bırakmama veya orada neler olabileceğini göstermeye çalışma konusunda karar verilmesi gerekiyordu. Karton maket yapımı, herhangi bir aynalık parçası korunmuş olmasa da, teknede aslında bir aynalık olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca, dokuzuncu sıradaki küpeşteden sadece bir tahta korunmuştur. Akla gelen fikir başlangıçta teknenin görsel olarak anlaşılmasını kolaylaştırmak için bu eksik parçaların nerelerde olduğunu göstermekti. Bu, rekonstrüksiyon ilerledikçe hiçbir şeyi değiştirmemek veya yerine bir şey koymamak şeklinde daha tutucu bir fikre dönüştü. Bunun yerine, tekneyi olabildiğince otantik halinde tutmak amacıyla sadece tekneyi güvende tutmak için gerekli olan şeyler eklendi.

Tam ölçekli yüzen rekonstrüksiyon *Vaaghals*, kullanım halindeyken teknenin nasıl görünebileceği konusunda daha gerçekçi bir deneyim sunmaktadır.

VAAGHALS: BARCODE 6'NİN YÜZEN KOPYASI - YÜZEN BİR ARAŞTIRMA LABORATUVARI

Teknelerin tam-ölçekli rekonstrüksiyonlarının yapılmasının orijinal malzemenin konservasyonunu nasıl yapacağımız konusunda doğrudan bir etkisi olmasa da bu çalışmanın bize sağladığı katkıdan bahsetmek istiyoruz. Konservatörler sergi için *Barcode 6* batığını nasıl hazırlayacaklarına karar verirken hem maketi hem de tam-ölçekli rekonstrüksiyonu yapmış olmanın verdiği deneyimden faydalanmıştır. Barcode projesinin ardından müze 2009 yılında bir tekne yapım atölyesi (*BoatLab*) açtı. Atölyenin ilk görevi karton ve hafif esnek plastikten yapılmış 3D baskılı tekne parçalarını kullanarak imal edilen ölçekli bir maketle (1:5) başlayarak Barcode 6 batığının rekonstrüksiyonunu yapmaktır.²¹ Makette ağır baskı altında 400 yıl sonra düzlenmiş durumdaki ahşap kalıntılar orijinal (varsayılan) şekline geri döndü. Maket tam-ölçekli tekne yapımı için tekne üreticisine şablon vazifesi gördü, aynı

The planks are held together by reusing the original nail holes substituting the original wooden nails with modern bolts in acid-resistant steel. Some of the original holes in the frames matched the holes in the planks well, and helped to hold the planks in the right position. The hull was supported by precisely fitted exterior bars in acid-resistant steel, anchored in the steel beam under the keel up to the fourth strake. The support construction was made to carry the whole weight of the boat. Exterior support legs disturb the visual impression when exhibited, and efforts were made to keep them to a minimum. An expert, Ragnar Løchen from the Viking ship museum (University of Oslo), was responsible for this part of the process, and added valuable expertise to the team.

A decision had to be made whether or not to leave the areas of the hull with missing parts open or try to illustrate what could have been there. The building of the cardboard model proved that the boat originally had a transom, although no parts of the actual transom were preserved. Moreover, from the ninth strake, the gunwale, only one of the planks was preserved. The idea was initially to show where the lines of these missing parts had been, to facilitate the visual understanding of the boat. As the reconstruction evolved, the idea moved towards the more conservative position to not replace or substitute anything. Instead, we only added what was necessary to secure the boat, to keep it as authentic as possible.

Vaaghals, the full-scale floating reconstruction, gives a more lifelike experience of what the boat might have looked like when it was in use.

VAAGHALS: THE SAILING COPY OF BARCODE 6 - A FLOATING RESEARCH LAB

Even though the building of full-scale reconstructions of the boats does not have a direct influence on how we proceeded with the conservation of the original material, we would like to describe the added value of this work. The conservators applied the experience from building both the model and the full-scale reconstruction, when deciding on how to prepare the *Barcode 6* for an exhibition. In the wake of the Barcode project, the museum opened a boat-building workshop in 2009, the *BoatLab*. The first task was to build a reconstruction of the Barcode 6, starting off with a scale model (1:5), constructed using cardboard and 3D-printed boat parts in slightly flexible plastic.²¹ In the model, the timbers that were flattened out after 400 years under heavy pressure, regained their (hypothetical) original shape. The model served as the means for a template for the boatbuilder to build the full-scale boat, but also to gain understanding of the

21 PLANKE & STÅLEGÅRD 2014

21 PLANKE & STÅLEGÅRD 2014

zamanda bir bütün olarak ve parçalarıyla teknenin yapım prensiplerinin anlaşılmasına katkıda bulundu. *Vaaghals* (İngilizce: *the Daredevil*, Türkçe: *Gözüpek*) 2011 yılında suya indirilmiştir, şu anda müze teknesi olarak işlev görmektedir. Müze tekneyi öncelikle denizci Oslo'nun arkeolojisini ve tarihçesini aktarmak amacıyla kullanılmaktadır, ancak gerçekleştirilmeyi bekleyen araştırma potansiyellerini de vurgulamakta fayda vardır. Orijinal malzeme, dijital belgeleme ve tam-ölçekli yelken hipotezi arasındaki kesişim deneysel arkeoloji, el sanatları bilgisi ve araç kullanımı ve malzeme seçimleri konusundaki katma değer tartışılmasını sağlayacak önemli soruları gündeme getirme potansiyeline sahiptir. Ayrıca deneysel arkeolojinin (filen tekne yapımının) ölçekli maketlerle elde edilen bulguları sorgulamamıza olanak verdiği de deneyimlenmiştir. Bunlar ileride sistematik olarak araştırmayı dört gözle beklediğimiz sorulardır.

BARCODE 8

Barcode 6 gibi Barcode 8 de nispeten büyük bir tekne olarak tanımlanabilecek bindirme kaplamalı bir gemidir. Gövdenin rekonstrüksiyon uzunluğu 9,5 m, teknenin ortasındaki küpeşte genişliğinin ise 4.8 m olduğu tahmin edilmektedir. Aşozlu bir omurga üzerine inşa edilen tekne kavisli bir pruvaya ve aynalığa sahiptir. Ağırlıklı olarak perçinli demir çivilerle birbirini tutan 18 borda kaplamasından oluşur, ancak altı kaplamada klinker çivilerin (küreklerle) kullanıldığı da gözlemlenmiştir. Tekne ağırlıklı olarak meşeden (*Quercus sp.*) imal edilmiştir. Ahşaplar dendrokronolojik olarak MS 1595 yılına tarihlenmiştir ve büyük bir olasılıkla Güney Norveç kökenlidir.²² Tekne nispeten düz dipli, oldukça özgün ve hacimli bir şekle sahiptir ve aynı döneme ait Barcode teknelerin büyük bir çoğunluğunun tersine ahşap döşeme testere ile kesilmiş olmayıp, baltayla şekillendirilmiştir. Muhtemelen yakın, ağır boyutlu çatkıya sahip sağlam yapısı nedeniyle küçük bir kargo gemisi olarak kullanılmıştır.

NMM, batığı müzenin 2021 yılında açılması planlanan yeni geleneksel Norveç ahşap tekneleri sergisinde sergilemeye karar vermiştir. Barcode 8 orijinal yerinde konumu gösterilecek olan bir batık olarak sergilenecektir. Bu nedenle konservasyonun hedefi teknenin ahşaplarının şekli ve görünümünü 2009 yılında bulunduğu zamanki durumuna mümkün olduğunca yakın bir şekilde korumak olacaktır. Barcode 8 orijinal şekline göre yeniden yapılmayacağından orijinal şeklini korumak için parçalarını kalıplarda dondurarak kurutmanın gerekli olmadığı düşünülmektedir, sadece mümkün olduğu kadar bulunduğu zamanki durumunda korunacaktır.

principles of the construction as a whole and its parts. *Vaaghals* (Eng: *the Daredevil*) was launched in 2011, and now functions as a museum boat, offering sailing trips on the fjord for visitors. The museum primarily uses the boat to communicate the archaeology and history of maritime Oslo, but it is worth stressing the research potentials that await realisation. The intersection between the original material, the digital documentation, and the building of full-scale sailing hypothesis has the potential to raise important questions, to discuss with the added value of experimental archaeology, knowledge of handcraft, and the use of tools and material choices. We also experience that the experimental archaeology (the actual boatbuilding) allow us to question the results of the scale models. These are questions we look forward to investigating systematically in the future.

BARCODE 8

Like Barcode 6, the Barcode 8 is also a lapstrake vessel that can be defined as a relatively large boat. The reconstructed length of the hull is 9.5 m, while the width is estimated to be 4.8 m at the gunwale amidships. It is constructed on a keel with rabbet and has a curved stem and a transom. It consists of 18 strakes held together mainly by clenched iron nails, but the usage of clinker nails (with rows) was also observed on six planks. It is built mainly in oak (*Quercus sp.*). The timber is dendrochronologically dated to AD 1595 and is probably of Southern Norwegian origin.²² The boat is relatively flat-bottomed, with quite a peculiar and voluminous shape; and in contrast to the majority of the Barcode boats from the same period, the planking is not sawed but axed. It was probably used as a small cargo vessel due to sturdy construction with close, heavy dimensioned framing.

NMM decided to exhibit the boat in the museum's new exhibition of traditional, Norwegian wooden boats scheduled to open in 2021. Barcode 8 will be exhibited as a wreck to illustrate the on-site situation. The goal for the conservation will therefore be to preserve the shape and look of the boat timbers as close as possible to the situation when it was found in 2009.

22 DALY 2011, 2014A

22 DALY 2011, 2014A

İşlem bunda da oldukça benzerdir. Barcode 6’da olduğu gibi omurgayı koruma konusunda da bazı güçlükler yaşanmıştır. Barcode 8 batık olarak sergileneneğinden, çalışmalar bir zamanlar yelkenle seyrederken sahip olduğu şeklin rekonstrüksiyonundan çok işlem sırasında ve sonrasında eğilip bükülmesini önlemeye yoğunlaşmıştır. İyi korunmuş tekne ahşapları 400 yıl sonra bile oldukça ‘canlı’ malzemelerdir. PEG-emdirme sonrasında omurgayı fiziki olarak ahşap bir kızığın içine sabitlerken stabil atmosferik bir ortamda kurutmayı seçtik. Özellikle bütün bir ağaç kütüğünden yapılan omurga gibi parçalar konservasyon sonrasında bükülmeye devam etme eğilimi gösterecektir. Ahşabı sabitleme çabamızın ne kadar başarılı olduğunu ancak ileride görebileceğiz, ancak aynı zamanda sergide daha fazla bükülmesini de azaltmış olacağız. Yerinde yapılan belgelemeye dayanarak sergide ahşapların (yeniden) yerleştirileceği bir kızak yapılmıştır. Kızak “bulunduğu şekliyle” olan durumu yeniden oluşturmaya yarar, ancak aynı zamanda bize ahşapları tutturma fırsatı vererek malzemede istenmeyen hareketlerin önüne geçilmesini de sağlar.

Barcode 6 batığı büyük Norveç bankalarından DnB’nin bodrum katında klima-kontrollü cam bir vitrinde sergilenmektedir, Barcode 8 ise iklim kontrolü sağlanan yenilenmiş bir müze binasında sergilenecektir. Bu durum batığın açık bir kızakta sergilenmesini olası kılmakta ve ziyaretçilere sadece cam bir çitle çevrili batığa yaklaşma fırsatı sunmaktadır.

SONUÇ

Oslo buluntuları büyük bir ulusal değere sahiptir, ancak aynı zamanda Kuzey Avrupa bağlamında tekne ve küçük gemi yapımının anlaşılması açısından büyük önem taşımaktadır. Dönemin büyük gemi yapımı konusundaki bilgilere belgeler ve resimlerde sıklıkla rastlansa da, daha küçük boyutlardaki teknelerin – adı sanı olmayan gemilerin – yapımıyla ilgili neredeyse hiç bilgi yoktur.²³ Buluntular bilimsel, ekonomik ve kültürel gelişmelerde hızlı geçişlerin yaşanabildiği Avrupa toplumlarında bir değişim çağında denizcilik teknolojisi konusunda eşsiz bilgi sağlamaktadır. Denizcilik temasları ve ticaretindeki artışın sonucu olarak Norveç yapımı ticari gemi ve yük gemilerinin şeklinin yanı sıra teknik çözümlerinin çoğu Avrupa gemi yapımındaki buluşlardan esinlenmiştir.

Yukarıda yapılan açıklamalardan görüleceği gibi, Oslo buluntularının konservasyonu, rekonstrüksiyonu ve sergilenmesiyle ilgili güçlüklerin üstesinden gelmek için yaptığımız seçimlerin çoğu pratik uygulamalar ile teorik bilgiler arasındaki diyalogun sonuçlarıdır.

Since Barcode 8 is not going to be reconstructed to its original shape, it is not considered necessary to freeze-dry the parts in moulds to retain their original shape, but only to preserve, as much as possible, the state it was found in. The procedure is still quite similar. As with the Barcode 6, we are presented with some challenges connected to conserving the keel. Since the Barcode 8 will be exhibited as a wreck, the challenges are not so much focused on reconstructing the shape it once had while sailing, but rather preventing it twisting while under and after treatment. Well-preserved boat timbers are very much a ‘live’ material, even after 400 years. After PEG-impregnation, we have chosen to dry the keel in a stable, atmospheric environment, while physically locked in a wooden cradle. Parts especially like the keel, made from a whole timber log, will tend to continue to twist after conservation. Only the future will show how successful our attempt to stabilise the timber is, but we will also mitigate further twisting in the exhibition. Based on the on-site documentation, a cradle is made to (re)situate the timbers in the exhibition. The cradle works to reconstruct the ‘as found’ situation, but at the same time gives us the opportunity to latch the timbers, and thereby prevent unwanted movements in the material.

While the Barcode 6 is exhibited in a climate-controlled glass case in the basement of DnB, a major Norwegian bank, Barcode 8 will be presented in a renovated museum building, holding a controlled climate. This makes it possible to present the boat in an open cradle, and gives the audience an opportunity to come close to the wreck, restricted only by a glass fence.

CONCLUSION

The Oslo finds have immense national value, but are also of great importance for understanding the building of boats and small ships in a Northern European context. While information about the construction of larger ships of the period can often be found in documents and illustrations, there is little or nothing in archives about the construction of vessels of lesser size – the ships without names.²³ The finds represent a unique insight in maritime technology in an era of change in the European societies, where rapid transitions can be seen in scientific, economic and cultural developments. As a result of the increase in maritime contact and trade, many of the technical solutions, as well as the shape of the Norwegian-built traders and cargo ships, are inspired by inventions in European ship building.

Ödünler verilmiştir ve bu makalede açıklanan dört işlem düzeyi hem bu kadar büyüklükteki malzemenin korunmasına yönelik kısıtlı kaynaklara hem de her bir gemi buluntusunun bilimsel ve eğitsel değerinin nitelikli bir şekilde değerlendirilmesine dayalı bir yanıttır. Her bir teknenin baştan sona dijital ortamda belgelenmesi daha düşük değerde olduğu düşünülen materyalin bir kısmını göz ardı edebilmemize olanak sağlamıştır.

Norveç Denizcilik Müzesi'nin Oslo batık buluntularının belgelenmesi ve konservasyonu ile ilgili yaşadığı en büyük güçlük, eldeki malzemenin boyutu ve büyüklüğüdür. Çeşitli buluntuların korunmasını tamamlamış ve farklı düzeylerde konservasyon uygulamış olarak ahşapları sabit hale getirerek bilimsel değerlerini koruyabildiğimize, aynı zamanda Barcode 6 ve Barcode 8 örneklerinde görüldüğü gibi bunları sergilenenebilir hale getirebildiğimize inanıyoruz. Bu inanılmaz Rönesans batıkları koleksiyonunun geleceğine ilişkin planlarımız; disiplinler arası araştırmaların devamı için fon sağlamak ve ticari erken modern dünyanın bir parçası olarak Oslo'nun denizcilik tarihini daha geniş kitlelere taşımının yeni yollarını oluşturmaktır. Yeni sergilerde daha fazla sayıda batığın ve kazılarda elde edilen buluntuların sergilenmesi bu hedefin kesinlikle önemli bir parçasını oluşturmaktadır.

TEŞEKKÜRLER

Proje geliştiricisi Oslo S Utvikling'e (OSU) mükemmel CSR için, The Savings Bank Foundation DNB'ye Barcode 6 konservasyonu ve sergisine verdiği destek için teşekkür ederiz.

As the above discussion shows, many of the choices we make to meet the challenges concerning the conservation, reconstruction, and exhibition of the Oslo finds are results of a dialogue between practical experience and theoretical knowledge. Compromises are made, and the four levels of treatment described in this paper are both a response to the limited resources of preserving such huge material, and are at the same time based on qualified evaluation of each ship find's scientific or educational value. The thorough digital documentation of each boat part makes us also able to discard some of the material considered of lower value.

A major challenge for the Norwegian Maritime Museum concerning the documentation and conservation of the ship finds from Oslo is the size and magnitude of the material. Having completed several finds, and applying different levels of conservation, we feel confident that we are able to stabilise the timbers, keeping the scientific value of them, but also making it possible to put them on display, as shown by the examples of Barcode 6 and Barcode 8. Our plans for the future of this incredible collection of renaissance shipwrecks is to raise funding for further interdisciplinary research, and development of new ways to bring the maritime history of Oslo, as a part of the mercantile early modern world, to a wider audience. Displaying more shipwrecks and finds from the excavations in new exhibitions are certainly part of this goal.

ACKNOWLEDGEMENTS

We would like to thank the developers Oslo S Utvikling (OSU) for excellent CSR, and The Savings Bank Foundation DNB for supporting the conservation and exhibition of Barcode 6.

KAYNAKÇA-BIBLIOGRAPHY

- BORVIK-GRUE-HOLMEN 2014 Borvik, R., Grue, M. L. P., Holmen, K. O., 'Paléhaven 1, Oslos første dokumenterte kravellbygde vrak', *Årbok for Norsk Maritimt Museum* 2014, 9-31.
- BÆKKEN 1998 Bækken, T. A. - Engen, T. - Molaug, P. B., 'To båtvrak fra 1600-tallet. Arkeologiske utgravninger på Sørenga i Oslo. NIKU oppdragsmelding 71'. Unpubl. Oslo, 1998.
- CHRISTENSEN 1965 Christensen, A. E. Jr. - Molaug, S., 'Båtfunnet i Jernbanetorget's stasjon', *Årbok Norsk Sjøfartsmuseum*, Oslo, 1965, 17-21.
- CHRISTENSEN 1973 Christensen, A. E. Jr., 'Skipssfunn på Sørenga i Oslo', *Naturen* No. 3 1973, 99-105.
- CRONYN 1990 Cronyn, J.M., *The Elements of Archaeological Conservation*, Routledge, 1990.
- DALY 2010a Daly, A., 'Barcode, vrak 6, Oslo'. *Dendro.dk rapport* 12, København, 2010.
- DALY 2010b Daly, A., 'Barcode og Midgardsormen', Oslo, Norge. *Dendro.dk rapport* 23, København, 2010.
- DALY 2010c Daly, A., 'Barcode, Vrag 7, Oslo'. *Dendro.dk rapport* 36:2010. København.
- DALY 2010d Daly, A., 'Barcode, Vrag 9, Oslo'. *Dendro.dk rapport* 37:2010. København.
- DALY 2011 Daly, A., 'Barcode vrak 5, vrak 8 og vrak 14. Oslo'. *Dendro.dk rapport* 24:2011. København.
- DALY 2013 Daly, A., 'Dendrochronological analysis of timbers from three ships - BC01, BC03 & BC10, from Barcode, Oslo'. *Dendro.dk rapport* 33:2013. København.
- DALY 2014a Daly, A., 'Dendrochronological analysis of the keel of Barcode ship 8 (BC08), from Barcode, Oslo'. *Dendro.dk report* 29:2014. København.
- DALY 2014b Daly, A., 'Dendrochronological analysis of timber from Barcode ship 2 (BC02), from Barcode, Oslo'. *Dendro.dk rapport* 32:2014. København.
- DALY 2014c Daly, A., 'Barcode, Vrag 2, Oslo'. *Dendro.dk rapport* 35:2014. København.
- DALY 2015 Daly, A., 'Dendrochronological analysis of the timbers of Barcode ship 4 (BC04), from Barcode, Oslo'. *Dendro.dk rapport* 20:2015. København.
- DALY 2016 Daly, A., 'Dendrokronologisk undersøgelse (fase 2) af tømmer fundet ved Bispevika (B3/B7) Oslo, Norge Projektnummer 2014096'. *Dendro.dk rapport* 64:2016. København.

- ERIKSSON 2017 Eriksson, N., 2017, *Eftermedeltida skeppsvrak: reflektioner kring marinarkeologi och historisk arkeologi med exempel från Östersjön*. In O. Uldum og M. Sylvester (eds.) *Nordisk Marinarkeologi fast forankret*. Langelands museum: 101-116.
- ENGEN - JOHANSEN 2012 Engen, T. - Johansen, L. M. B., 'Arkeologiske undersøkelser av Dronning Eufemiasgate. Havneanlegg fra middelalderen. *NIKU Oppdragsrapport nr103/2011*'. Unpubl, 2012.
- FALCK 2012 Falck, T., Rapport. Båtfunn i senketunneltraseen, Delrapport 4, Senketunnelprosjektet. Norsk Maritimt Museum, *Arkeologisk Rapport* 2012:4.
- FALCK 2014 Falck, T., 'Fra tommestokk og øyemål til 3D. Dokumentasjon og rekonstruksjon av arkeologiske skipsfunn', in E. S. Koren and F. Kvalø (eds.), *Hundre år over og under vann, Kapitler om maritim historie og arkeologi i anledning Norsk Maritimt Museums hundreårsjubileum*, 325–55. Novus, Oslo, 2014.
- FALCK-EGENBERG-VANGSTAD 2013 Falck, T. - Egenberg, I. M. - Vangstad, H., 'Digital documentation for many purposes: The Barcode 6 boat as a Case study', in *ACUA Underwater proceedings* 2013, 151–7.
- FALCK-FAWSITT-KERR 2016 Falck, T., Fawsitt, S., Kerr, A., 'Sørenga 7: The reconstruction of a 17th-century boat from Oslo harbour' *International Journal of Nautical Archaeology* 45(2), 2016, 310-330.
- GUNDERSEN 2012 Gundersen, J., 'Barcode Project, Fifteen Nordic Clinker Built Boats from the 16th and 17th Centuries in the City' Centre of Oslo, Norway, in N. Günsenin, (ed.), *Between Continents, Proceedings of the Twelfth Symposium on Boat and Ship Archaeology*, Istanbul 2009, ISBSA 12, Istanbul, 2012, 75–80.
- HERTEIG 1990 Herteig, A. E., *The Bryggen Papers Main series*. Vol 3 Part 1. Universitetsforlaget, Bergen, 1990.
- HOBBERSTAD 2012 Hobberstad, L. C., 'Lasting og Lossing i Oslos middelalderhavn', Unpubl. Master Thesis, University of Oslo, 2012.
- HOFFMANN 2013 Hoffmann P., 'Conservation of Archaeological Ships and Boats – personal experiences'. London 2013, 109, 25.
- HOVDAN-SANDVOLL-THOME 2015 Hovdan, M. - Sandvoll, B. - Thome, P., 'Conservation of a 17th century boat, Barcode 6, for exhibition'. In Condition 2015. *Conservation and digitalization*, Gdansk, 2015, 31-38.
- JOHANSEN 2007 Johansen, L-M. B., 'Arkeologisk utgravning av Sørenga 7. Et båtvrak fra slutten av 1600-tallet. Del 1.' *NIKU Rapport arkeologiske utgravninger* 25/2007, Oslo, 2007.
- JOHANNESSEN 2016 Johannessen, J., 'En arkeologisk undersøkelse av kritt Piper som kilde til når tobakkskonsum ble vanlig i Oslo'. *Norsk Maritimt Museum Årbok*, 2016, 11-28.

- JONES 2007 Jones, T., *'Timber Recording Manual. Digital recording of Ship Timbers using a FaroArm 3D Digitiser and Rhinoceros 3D software, Newport, Newport Medieval Ship Project'*, Unpublished report/manual, 2007.
- McDONALD 2011 McDonald, M.R., 'Wharves and Waterfront Retaining Structures as Vernacular Architecture'. In *Historical Archaeology*, 45(2), 2011, 42-67.
- MOLAUG 2002 Molaug, P. B., 'Oslo havn i middelalderen. NIKU strategisk instituttprogram 1996-2001 Norske middelalderbyer'. NIKU publikasjoner 122. Norsk institutt for kulturminneforskning, Oslo, 2002.
- MOLAUG 2012 Molaug, P. B., 'Oslo havn før 1624' i *Viking Norsk arkeologisk årbok Bind LXXV*, Oslo, 2012.
- NEDKVITNE - NORSENG 1991 Nedkvitne, A - Norseng, P. G., *'Oslo bys historie I Byen under Eikaberg'*. Cappelen, Oslo, 1991.
- NEDKVITNE - NORSENG 2000 Nedkvitne, A. - Norseng, P. G., *'Middelalderbyen ved Bjørvika'*. Cappelen, Oslo, 2000.
- PAASCHE-RYTTER-MOLAUG 1995 Paasche, K. - Rytter, J. - Molaug, P.B., 'Innberetning. Sørenga delprosjekt 1 1992-93. NIKU distriktskontor Oslo'. Unpubl, 1995.
- PLANKE - STÅLEGÅRD 2014 Planke, T. - Stålegård, L., 'Barcode 6 fra vrak til rekonstruksjon. En utlegging av resultater og metoder', in E. S. Koren and F. Kvalø (eds.), *Hundre år over og under vann, Kapitler om maritim historie og arkeologi i anledning Norsk Maritimt Museums hundreårsjubileum*, Oslo, 2014, 358-99.
- RAVN *et al.* 2011 Ravn, M. - Bischoff, V. - Englert, A. - Nielsen, S., 'Recent advances in post-excavation documentation, reconstruction, and experimental archaeology'. In A. Catsambis, B. Ford and D. L. Hamilton (eds.) *The Oxford handbook of maritime archaeology*, 2011, 232-249.
- SANDVOLL 2015 Sandvoll, B., *'Konservering av BC06. En båt fra slutten av 1500-tallet'*, Unpubl. Master thesis, University of Oslo, 2015.
- SCHIA 1991 Schia, E., *'Oslo innerst i viken: liv og virke i middelalderbyen'*. Oslo, 1991.
- STRÆTKVERN *et al.* 2009 Strætkvern, K. - Hjelm-Petersen, A. - Nørlem Sørensen, J. - Jørgensen, E. - Gøthche, M. - Thomassen, T., 'Successful shaping or destructive devices? Freeze-drying of ship timbers in moulds and frames. In K. Strætkvern and D. J. Huisman (eds.) *Proceedings of the 10th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference*, Nederlandse Archeologische Rapporten, 2009, 439-454.

- VANGSTAD 2009 Vangstad, H., 'Ship o'hoi – trygt i havn? Barcodeutgravningen i Bjørvika- en beretning om båtberging i byggegropa med adaptive arkeologiske metoder'. *Nicolay* 108. Oslo, 2009.
- VANGSTAD 2011 Vangstad, H., 'De siste års arkeologiske funn i Bjørvika fra perioden 1570 til 2000 – lange linjer, flyktige episoder'. In T. E. Fagerland and K. Paasche (eds.) *1537 – Kontinuitet eller brudd?*, Trondheim, 2011.
- VANGSTAD 2012 Vangstad H., 'Development of an Adaptive Method for the Rescue of 15 Shipwrecks from a Construction Site in Oslo Harbour: Need for Speed', in N. Günsenin, (ed.), *Between Continents, Proceedings of the Twelfth Symposium on Boat and Ship Archaeology*, Istanbul 2009, ISBSA 12, Istanbul, 2012, 305-311.
- VANGSTAD 2014 Vangstad, H., 'Bjørvika, et amfibiearkeologisk eldorado: eller da arkeologene fra Norsk Maritimt Museum krøp opp på land', in E. S. Koren and F. Kvalø (eds.), *Hundre år over og under vann, Kapitler om maritim historie og arkeologi i anledning Norsk Maritimt Museums hundreårsjubileum*, Novus, Oslo, 2014.



*MA'AGAN MIKHAEL
GEMİSİNİN KAZISI VE
KONSERVASYONU*

*EXCAVATION AND CONSERVATION
OF THE MA'AGAN MIKHAEL SHIP*





* Deborah CVIKEL

Anahtar kelimeler: Polietilen glikol, kabuk-ilk, batık gemi, suya doymuş ahşap.

Keywords: Polyethylene glycol, shell-first, shipwreck, waterlogged wood.

ÖZET

MÖ 400'e tarihlenen Ma'agan Mikhael gemisi, ilk önce zıvanalı geçmelerle kenardan kenara bağlanarak gövde biçimini oluşturan kaplamaları ile kabuk-ilk tekniğinde inşa edilmiş; daha sonra eğriler çift perçinli bakır çivilerle oluşturulan kabuğa sabitlenmiştir.

Arkeolojik buluntunun önemi nedeniyle, kalıntılar tamamen kazılmış ve deniz tabanından kaldırılmıştır. Geminin suya doymuş ahşaplarının konservasyonu için, suyun % 100 polietilen glikol (PEG 3350) ile yer değiştirmesi yöntemi seçilmiştir. Konservasyon işlemi yedi yıl süren batığın ahşapları gemi için özel bir segi salonunun inşa edildiği Hayfa Üniversitesi'ndeki Hecht Müzesi'ne taşınmıştır. Geminin gövdesi kabuk-ilk yöntemi kullanılarak üç yıllık bir süre içinde yeniden biraraya getirilmiştir; bu uygulamalara ayrıntılı bir dokümantasyon ve araştırma süreci eşlik etmiştir. Gemi 2002'den beri Hecht Müzesi'nde halka açık bir şekilde sergilenmektedir.

GİRİŞ

Antik dönemden kalma bu batık 1985 yılında İsrail'in Ma'agan Michael Kibbutz sahilinden yaklaşık 70 m uzaklıkta, bölge üyelerinden Ami Eshel tarafından keşfedilmiştir. Yaklaşık 1,5 m kalınlığında bir kum tabakası altında 1,5 m derinlikteki sığ suda keşfedilen batığın baş tarafı kıyıya dönüktür. Buluntular ilk incelendiğinde geminin yaklaşık 14 m uzunluğunda eski bir ticaret gemisi olduğu anlaşıldı. Nispeten yeni olan gemi, MÖ 5. yüzyılın sonlarında karaya oturmuştu. Kazı alanında, proje başkanı merhum Dr. Elisha Linder ile birlikte, İsrail'den ve yurtdışından gelen deniz arkeologlarından oluşan bir ekip tarafından, 1988 sonbaharında (49 gün) ve 1989 ilkbahar ve sonbaharında (sırasıyla 52 ve 94 gün) olmak üzere üç mevsim sualtı kazıları yapılmıştır. Kazı ekibini Texas A&M Üniversitesi'nden Jay Rosloff yönetmiştir.¹

¹ KAHANOV 2011, 162.

*Dr. Deborah Cvikel. ORCID: 0000-0002-4661-1603. Hayfa Üniversitesi, Leon Recanati Denizcilik Çalışmaları Enstitüsü ve Denizci Uygarlıklar Bölümü, İsrail.

* Dr. Deborah Cvikel. ORCID: 0000-0002-4661-1603. Leon Recanati Institute for Maritime Studies and Department of Maritime Civilizations University of Haifa, Israel.

ABSTRACT

The Ma'agan Mikhael ship, dated to 400 BCE, was built shell-first with the planks first connected edge-to-edge by mortise-and-tenon joints to form the shell, and then the frames were fastened to the installed planking by double-clenched copper nails. Because of the significance of the archaeological find, the remains were completely excavated and retrieved from the seabed. The ship's timbers were waterlogged, and the method chosen for conservation was by displacing the water with 100% polyethylene glycol (PEG 3350). The conservation process lasted seven years, and on its completion the timbers were moved to the Hecht Museum at the University of Haifa, where a special wing had been built for the ship. The hull was reassembled over a period of three years using the shell-first method, accompanied by a thorough documentation and research process. The ship has been on public display at the Hecht Museum since 2002.

INTRODUCTION

This ancient shipwreck was discovered in 1985 about 70 m from the shore of kibbutz Ma'agan Mikhael by a kibbutz member, Ami Eshel. It was in shallow water at a depth of 1.5 m under a layer of sand about 1.5 m thick, with its bow pointing toward the shore. The initial examination of the finds indicated that it was an ancient merchant ship, about 14 m long. The ship, which was relatively new, ran aground in the late 5th century BCE. Three seasons of underwater excavations were carried out at the site during Autumn 1988 (49 days) and Spring and Autumn 1989 (52 and 94 days, respectively) by a team of maritime archaeologists from Israel and abroad, with the late Dr. Elisha Linder as project head. Jay Rosloff of Texas A&M University led the excavation team.¹

¹ KAHANOV 2011, 162.

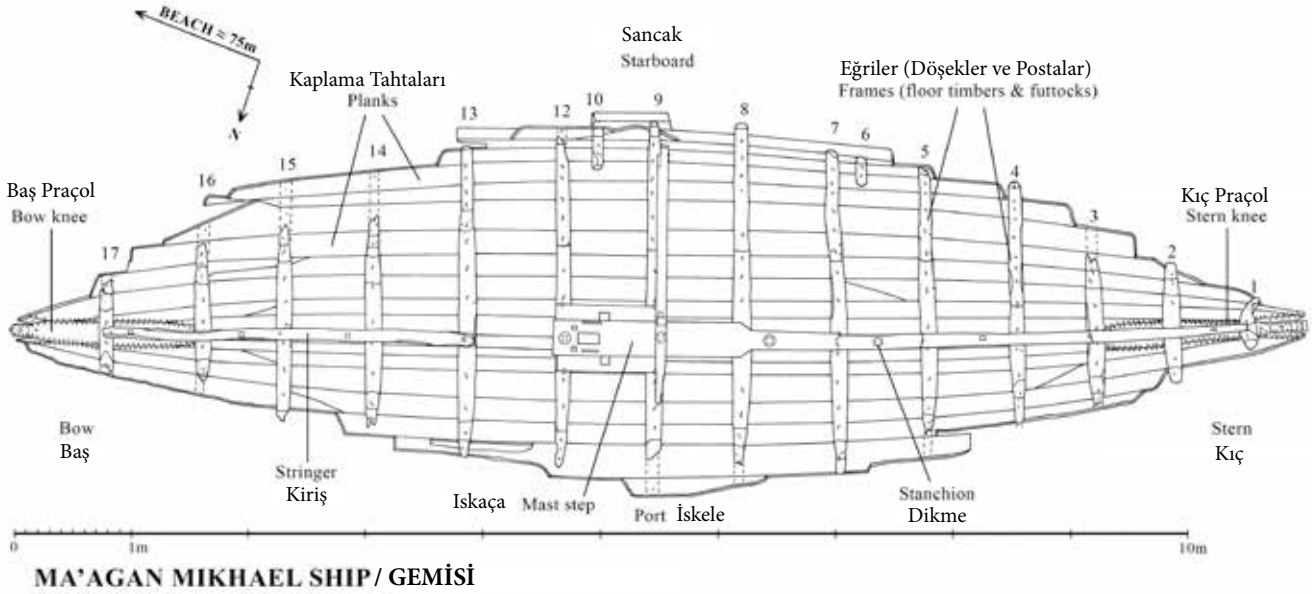


Fig. 1: Ma'agan Mikhael batığının plan görünümü (Grafik: J. Rosloff)

Fig. 1: Plan view of the Ma'agan Mikhael ship (Diagram: J. Rosloff)

Ma'agan Mikhael batığı karinasının (11,15 m uzunluk, 3,11 m genişlik ve 1,5 m derinlik) tamamen korunmuş olması nedeniyle benzersiz bir buluntudur. Gövdenin günümüze kadar kalabilen kısımları omurga, kontra omurga ve merkezi kiriş, 14 tam eğrinin parçaları, kaplama sıralarından bölümler (sancak tarafında 12 ve iskele tarafında 7), ıskaç, başta ve kıçta praçollar ve çeşitli iç-elemanlardan oluşmaktadır (Fig.1). Bu ahşaplar, meşeden (*Quercus spp.*) yapılmış olan zıvana dilleri, pimler ve kontra omurga dışında, Türk çamındandır (*Pinus brutia*). Gövde ve buluntuların tamamı Doğu Akdeniz'e özgü 13 ağaç türünden yapılmıştır.² Gövde, şarap kadehi biçimli bir kesite sahiptir ve kaplamaların, konik pimlerle kilitlemiş, yakın aralıklı zıvanalı geçmelerle kenar kenara bağlanmış olmasından anlaşıldığı üzere, "kabuk-ilk" yöntemi ile inşa edilmiştir. Ege ve Foça kontekstinde doğruluğu kanıtlanmış (örneğin Jules-Verne 7 ve 9 gemileri) Antik Yunan gemi inşa geleneğine uygun bir şekilde, kaplamalar baş ve kıç kısımlarda, omurga, praçol ve bodoslama topuklarına dikilmiştir. Kaplamalar gövdeyi oluşturacak şekilde birleştirildikten sonra, eğriler yerleştirilmiş ve çift perçinli bakır çivilerle sabitlenmiştir.

The Ma'agan Mikhael shipwreck is unique, as the bottom of the hull was completely preserved (length of 11.15 m, width of 3.11 m and depth of 1.5 m). The parts of the hull which survived were the keel, false keel and central stringer, parts of 14 full frames, sections of strakes – 12 on the starboard side and 7 on the port side, the mast-step, knees in the bow and stern and various internal components (Fig.1). These timbers were Turkish pine (*Pinus brutia*), except for tenons, pegs and the false keel, which were oak (*Quercus spp.*). Altogether the hull and the finds were made from 13 wood species indigenous to the eastern Mediterranean.² The hull had a wineglass-shaped cross-section, and was built by the 'shell-first' method, meaning that the strakes were connected edge-to-edge by closely spaced mortise-and-tenon joints locked by tapered pegs. The planks were sewn at the bow and stern to the keel, knees, and endposts, which was a Greek shipbuilding tradition, well attested in both Aegean and Phocaeen contexts, for example the Jules-Verne 7 and 9 vessels. After the planks were assembled to form the hull, the frames were installed and fixed with double-clenched copper nails.

2 KAHANOV 2003, 53–113; KAHANOV 2011, 162–163; KAHANOV - POMEY 2004, 6–13.

2 KAHANOV 2003, 53–113; KAHANOV 2011, 162–163; KAHANOV - POMEY 2004, 6–13.

Geminin yükü, talaş yatağına serili haldeki 12,5 ton bazalt ve mavi şist taşıydı. Mavi şistin kaynağı Atina yakınlarındaki Euboea adasıydı; bazalt ise Kıbrıs'tandı.³ Meşe ağacından yapılmış benzersiz tek kollu tipteki çapa pruvanın yanında bulunmuştur. Palamar hâlâ çapanın üst kısmındaki göze takılıydı ve dipte de çapa memesine bir alt halat (çapa deniz tabanına takıldıysa çıkarmak için) bağlıydı.⁴ Buluntular arasında yiyecek kalıntıları; mürettebatın günlük kullanımı için olduğu anlaşılan yaklaşık 70 seramik tabak, kase, sürahi vb.; kemani matkaplar, cetveller, bir gönye, ahşap çiviler ve kullanıma hazır zıvana dilleri içeren bir marangoz aletleri sepeti; çeşitli bitki liflerinden değişik uzunluklarda birkaç ip; bir kurşun külçe ve kozmetik amaçlı kullanıldığı anlaşılan dekoratif ahşap kutular vardı.⁵ Gemi ¹⁴C analizi ve seramik buluntularına göre yaklaşık MÖ 400 yılına tarihlendirilmiştir.⁶ Ahşabın kökeni Asia Minor'un batı kıyısı olarak belirlenmiştir⁷, toprak kapların kökeni ise ağırlıklı olarak Kıbrıs ve/veya Doğu Akdeniz'dir; ancak bazı ürünler Küçük Asya'nın Doğu Yunan bölgesindedir.⁸ Buluntular, güverte üzerindeki günlük yaşamın bazı yönlerini yeniden oluşturmayı mümkün kılmıştır; ancak aletler ve eşyalar bir yerden bir yere alınıp satıldığı için geminin kökenini veya uğranılan limanları belirlemeye yardımcı olamamıştır.

Geminin konservasyon, araştırma ve rekonstrüksiyonu Leon Recanati Denizcilik Araştırmaları Enstitüsü'nden merhum Profesör Yaacov Kahanov tarafından yürütülmüştür. Leon Recanati Denizcilik Araştırmaları Enstitüsü baş danışmanı Pinhas Peled, konservasyon projesinin sorumluluğunu paylaşmıştır.

GÖVDE KALINTILARININ KURTARILMASI

Arkeolojik buluntunun önemi nedeniyle, gövde tamamen kazıldıktan ve tüm buluntuları ve içerikleri yerinden kaldırıldıktan sonra, karada araştırma çalışmalarına başlanmıştır. Her bir elemanın tam yerini tanımlayabilmek ve rekonstrüksiyona olanak sağlayabilmek amacıyla, gövde su altında sökülmeden önce, tüm ahşaplar etiketlenmiştir. Kaldırılmadan önce, ahşaplara Dymo bant etiketleri enjeksiyon iğneleri ile tutturulmuştur. Herbir eleman, gövde krokisi üzerine aynı anda kaydedilerek çeşitli yerlerinden etiketlenmiştir.

The ship carried 12.5 tons of stone, mostly blue schist with some gabbro (basalt), laid on a bed of dunnage. The source of the blue schist was the island of Euboea, near Athens, and the gabbro was from Cyprus.³ A unique single-arm type of anchor made from oak was found near the bow. The hawser was still attached to the eye of the anchor at its top, and a trip rope (to free the anchor if trapped on the seabed) was attached to the crown at the bottom.⁴ Among the finds were food remains; about 70 pottery items: plates, bowls, jugs, etc, apparently for everyday use by the crew; a basket of carpenter's tools, which included bow drills, rulers and a square, wooden nails and ready-to-use tenons; several sizes of ropes of various plant fibres; a lead ingot; and decorative wooden boxes apparently used for cosmetics.⁵ The ship was dated to about 400 BCE by ¹⁴C analysis and the ceramic finds.⁶ The origin of the timber has been identified as the western coast of Asia Minor,⁷ while the origin of the pottery vessels was mainly Cyprus and/or the Levant, although some items were East Greek from Asia Minor.⁸ The finds made it possible to reconstruct some facets of daily life on board, but could not assist in identifying the origin of the ship or her ports-of-call, since tools and objects were traded from place to place.

The late Professor Yaacov Kahanov of the Leon Recanati Institute for Maritime Studies directed the conservation, research and reconstruction of the ship. Pinhas Peled, chief conservator of the Leon Recanati Institute for Maritime Studies, shared the responsibility for the conservation project.

RETRIEVING THE HULL REMAINS

Because of the significance of the archaeological find, after the hull was completely excavated and all of its finds and contents removed, it was retrieved for research on land. All timbers were marked before dismantling the hull under water to enable the reconstruction and identification of the precise location of each component. Dymo tape tags were attached to the timbers with hypodermic needles prior to recovery. Each component was tagged at several points, with parallel recording of each point on a sketch of the hull. Both the Dymo tapes and the needles survived the sea conditions, the removal of salts from the wood with tap water prior to

3 ROSLOFF 2003.

4 ROSLOFF 2003.

5 KAHANOV 2011, 163.

6 ARTZY – LYON 2003, 197.

7 HILLMAN – LIPHSCHITZ 2004, 152–153.

8 ARTZY – LYON 2003.

3 SHIMRON – AVIGAD 2003.

4 ROSLOFF 2003.

5 KAHANOV 2011, 163.

6 ARTZY – LYON 2003, 197.

7 HILLMAN – LIPHSCHITZ 2004, 152–153.

8 ARTZY – LYON 2003.

Hem Dymo bantları hem de iğneler deniz koşulları, konservasyon işleminden önce tuzların musluk suyuyla ahşaptan atılması ve tüm konservasyon işlemi süreci boyunca dayanarak geminin yeniden monte edilmesini mümkün kılmıştır.⁹

Ahşapların sökölme sırası, inşa edilirken izlenen sıranın hemen hemen tam tersiydi: kıçtan başa doğru önce punteller, merkezi kiriş, direk ıskaçası ve kaburgalar çıkarılmıştır. Zıvanaları kesmek için keskin masa bıçakları kullanılarak gövde kaplamaları ayrılmıştır. Borda kaplamaları yaklaşık 1.8 m uzunluğunda parçalar olacak şekilde kesilerek konservasyon sürecinin sonuna kadar saklandıkları plastik tepsilere alınmıştır. Ahşaplar kıyıdaki tatlı su tanklarına daldırılmadan önce sadece birkaç dakika havaya maruz kalmış, oradan da Hayfa Üniversitesi'ndeki Leon Recanati Deniz Araştırmaları Enstitüsü'nün konservasyon laboratuvarına transfer edilmiştir. En büyük parça olan 8.26 m uzunluğundaki omurga, nakliyesi ve konservasyonu için tasarlanmış 10 m uzunluğunda paslanmaz çelik bir kapta tek parça halinde denizden çıkarılmıştır (Fig. 2).¹⁰

conservation and the entire conservation treatment process, and made reassembly of the ship remains possible.⁹

The order in which the timbers were dismantled was, more or less, the reverse of the construction sequence: the stanchions, central stringer, mast-step and frames were retrieved first, from stern to bow. Sharp table knives were used to cut the tenons so that hull planks could be separated. The hull planks were sawn into approximately 1.8 m long sections and carried out in plastic trays, in which they were held until the end of the conservation process. The timbers were exposed to the air for only a few minutes before they were immersed in tanks of fresh water on shore, and then transferred to the conservation laboratory of the Leon Recanati Institute for Maritime Studies at the University of Haifa. The largest component – the 8.26 m long keel, was removed from the sea in one piece in a 10 m long stainless steel container designed for its transportation and conservation (Fig. 2).¹⁰



Fig. 2: Omurganın kurtarılması. (Foto: D. Syon)

Fig. 2: Retrieval of the keel (Photo: D. Syon)

⁹ KAHANOV 2011, 164.

¹⁰ KAHANOV 1997, 317–318; KAHANOV 2004, 195.

⁹ KAHANOV 2011, 164.

¹⁰ KAHANOV 1997, 317–318; KAHANOV 2004, 195.

KONSERVASYON SÜRECİ

Ahşapların durumu iyi görünüyordu; sarı renkte, hatta denizden çıkarıldığında reçine kokuyordu. Aşınma veya biyolojik gelişim gözlemlenmemiş olup, sadece gövde kalıntılarının en üst kısımlarında sınırlı *Teredo navalis* saldırısı görülmüştür. Bununla birlikte, ahşaplar suya doymuştu, yani ahşabı çürümüş ve ahşap hücrelerindeki boşluklar tamamen deniz suyuyla dolmuştu. Ahşap ayrıca bir miktar bakteriyel bozunmaya uğramış;¹¹ tamamen suya batırılmadığı sürece, kendi ağırlığı altında çökme eğilimi gösterecek derecede yumuşak ve kırılğandı. Ahşapların nem içeriği % 709'a kadar çıkmıştı; bu da onları son derece kırılğan hale getirmişti; bu nedenle her aşamada çok dikkatli bir şekilde taşınmaları gerekiyordu.¹²

Gövde ahşapları temizlenerek kalınlıklarına göre iki gruba ayrılmıştır: (1) gövde kaplamaları (maksimum kalınlık 5 cm) ve (2) daha kalın olanlar (eğriler, bodoslama topuğu, paraçollar vb.). Bunlar ayrı konservasyon tanklarına yerleştirilmiştir. Mümkün olduğunda, parçaların her birinin her tarafı, konturlar, boyutlar, çivi kalıntıları, dikiş delikleri, vb. gibi ana özellikleriyle kaydedilmiştir. Konservasyon işleminin ilk aşaması ahşabın tuzdan arındırılmasıydı. İki yıl boyunca, tanklardaki suyun yaklaşık % 25'i, her iki haftada bir alttaki daha tuzlu su katmanları boşaltılarak ve tanklar temiz musluk suyu ile doldurularak değiştirilmiştir. Tanklar birkaç kez boşaltılmış; ahşap ve tanklar su yeniden doldurulmadan önce yıkanmıştır.¹³ Tuzdan arındırma işlemi sırasında alınan ölçümler, kabul edilebilir seviyede (100 ppm) klorürün yedi kez değiştirildikten sonra elde edildiğini ortaya koymuştur.¹⁴

Polietilen glikol (PEG) ile konservasyon işlemine 25 Aralık 1991 tarihinde başlanmıştır. Ahşaplar ilk önce düşük moleküler ağırlıklı sıvı PEG 400 ile, daha sonra daha yüksek moleküler ağırlıklı PEG 3350 ile emdirilecek şekilde iki aşamalı bir konservasyon işlemi seçilmiştir.¹⁵ İşlem, suda çözünen reçinenin bozulmuş ahşap hücrelerdeki suyun yerini almasını sağlayarak ahşabın kurutma sırasında çekmesini, çatlamasını ve бүkölmesini önleyecek ve deniz ortamında gömülü oldukları yüzyıllar boyunca kaybettikleri gücün bir kısmını geri kazandıracak şekilde tasarlanmıştır. Bu yöntemin ana dezavantajı, ahşabın nihai ağırlığı ve renginin koyulaşmasıdır. Daha sonra, çıkarma sırasında fazlalık olan PEG'i katılaştırmadan önce silmenin konservasyonu yapılan ahşabın rengini düzelttiği, sonraki bir aşamada suyla nemlendirilmiş bir süngerle silmenin rengi daha da açabileceği anlaşılmıştır.¹⁶

THE CONSERVATION PROCESS

The timbers appeared to be in good condition – the wood was yellow coloured and even smelled of resin when retrieved from the sea, without wear or biological growth, and only limited *Teredo* attack was evident in the uppermost parts of the hull remains. However, the timbers were waterlogged, meaning that the wood had decayed and any void spaces within the wood cells were totally filled with sea water. The wood had also suffered some bacterial degradation;¹¹ it was very soft and fragile, to the extent that it was liable to collapse under its own weight unless kept completely immersed in water. The moisture content of the timbers was up to 709%, making them extremely fragile; hence they required very careful handling at all stages.¹²

Hull timbers were cleaned, sorted by thickness into two groups: (1) hull planks (maximum thickness 5 cm) and (2) thicker timbers (frames, endposts, knees etc.), and placed into separate conservation tanks. Where possible, all sides of each timber were recorded for their main features: contours, dimensions, nail remains, sewing holes, etc. The first stage of the conservation process was desalination of the wood. For two years about 25% of the water in the tanks was replaced every two weeks by draining the lower layers of saltier water and refilling the tanks with fresh tap water. The tanks were emptied several times, and the wood and the tanks were washed before refilling with water.¹³ Measurements taken during the desalination process indicated that an acceptable level (100 ppm) of chlorides was achieved after seven replacements.¹⁴

The polyethylene glycol (PEG) conservation process began on December 25, 1991. A two-stage conservation treatment was chosen: first the timbers would be impregnated with low molecular weight liquid PEG 400, introducing the heavier PEG 3350 later.¹⁵ The treatment was designed to completely displace the water in the degraded wood cells with this water soluble wax and thus prevent shrinkage, cracking and warping of the timbers on drying, and restore some of the strength they had lost over the centuries buried in the marine environment. The main disadvantage of this method is the final weight and dark colouring of the wood. It was later found that wiping off the excess PEG at the time of extraction, before it solidifies, improves the colour of conserved wood, and that wiping it at a later stage with a sponge dampened with water can further lighten the colour.¹⁶

11 GRATTAN 1987, 55.

12 KAHANOV 1997, 317, 329; KAHANOV 2011, 165.

13 KAHANOV 2004, 198.

14 KAHANOV 2011, 165.

15 HOFFMANN 1986.

16 KAHANOV 2004, 199.

11 GRATTAN 1987, 55.

12 KAHANOV 1997, 317, 329; KAHANOV 2011, 165.

13 KAHANOV 2004, 198.

14 KAHANOV 2011, 165.

15 HOFFMANN 1986.

16 KAHANOV 2004, 199.

En büyük gemi elemanını oluşturan omurga iki yıl boyunca tuzdan arındırılmış, ardından iki aşamalı konservasyon sürecinde 4.5 yıl süreyle PEG emdirme uygulanmıştır. İlk aşamada, ahşaplar 20°C sıcaklıkta PEG 400 ile emdirilmiştir. Altı ay sonra PEG konsantrasyonu % 25'e (w/v) ulaşarak sıcaklık 40°C'a yükseltilmiştir. Omurganın PEG 400 kullanılarak konservasyonu % 45 (w/v) konsantrasyona kadar altı ay daha devam etmiştir. Yaklaşık 3.5 yıl süren ikinci aşamada ise PEG 3350 ile emdirme devam etmiştir. Başlangıçta % 5 (w/v) PEG 3350, ardından %100 (w/v) bir konsantrasyona ulaşınca kadar haftada % 2'lik (w/v) bir oran verilmiştir.¹⁷ 20 Haziran 1996 tarihinde omurganın konservasyon işlemi tamamlanmıştır.

Diğer tüm ahşaplara, işlemin başında % 5 (w/v) PEG 400 uygulanmıştır. Tanklara ilk yıl boyunca haftada % 1 (w/v) oranında sıvı PEG 400 ilave edilmiştir. Çözeltinin başlangıç sıcaklığı ortam sıcaklığı, yaklaşık 20 °C olmuştur. PEG 400 konsantrasyonu % 60'a (w/v) ulaştığında, katı toz halindeki PEG 3350, konsantrasyon % 100'e (w/v) ulaşana kadar haftada % 2 (w/v) oranında çuvallardan tanklara doğrudan ilave edilmiştir.¹⁸ PEG'nin su içerisindeki konsantrasyonu, arındırma işlemi boyunca sürekli olarak ölçülmüştür. Gövde kaplamalarında emdirme işlemi 2.5 yıl, daha kalın ahşapların konservasyonu ise 3.5 yıl sürmüştür.

Konservasyon işlemi boyunca sıcaklık, tank direnci gibi çeşitli özelliklere göre maksimum 70 °C ile sınırlı tutulmuştur. Tanklar neredeyse ağzına kadar dolu olduğundan, katı PEG eklemek için çözelti seviyesinin buharlaştırma ile düşürülmesi zorunluluğu ortaya çıkmıştır. Gerekli buharlaşma, sıcaklığın 60° C'ye yükseltilmesi ve tank kapaklarının 24 saat boyunca çıkarılmasıyla gerçekleştirilmiştir. Sıcaklığı etkileyen bir diğer faktör, tanklarda su bulanıklaştığında gözlemlenen mikroorganizmaların varlığıydı. Bu nedenle çözeltinin sıcaklığı 40°C'ye çıkarılarak tank kapakları da 24 saat boyunca açık tutulmuştur. Sonuç olarak, PEG çözeltisi berraklaşmıştır. % 100 (w/v) PEG 3350 çözeltisi 60 °C'de katılaşır, dolayısıyla sıcaklık kontrolü kritiktir. Bu nedenle, ayrışmasını veya plastik kaplı tankların fiziksel olarak çökmesini önlemek için % 100 (w/v) PEG 3350 çözeltisi için sıcaklık 62°C ile sınırlandırılmıştır.¹⁹

The keel, the largest timber, was desalinated for two years, followed by 4.5 years of PEG impregnation in a two-stage conservation process. The first stage involved impregnating the timbers with PEG 400 at a temperature of 20°C. After six months the PEG concentration reached 25% (w/v), and the temperature was raised to 40°C. Conservation of the keel using PEG 400 continued for an additional six months, up to a concentration of 45% (w/v). The second stage, which took about 3.5 years, was impregnation with PEG 3350. An initial amount of 5% (w/v) PEG 3350 was introduced, followed by a weekly rate of 2% (w/v) up to a concentration of 100% (w/v).¹⁷ On 20 June 1996, conservation of the keel reached completion.

For all other timbers, an amount of 5% (w/v) PEG 400 was introduced at the beginning of the process. Liquid PEG 400 was added to the tanks at a rate of 1% (w/v) per week over the first year. The initial temperature of the solution was ambient, about 20°C. Once the PEG 400 concentration reached 60% (w/v), dry PEG 3350 powder was added to the tanks directly from sacks at a weekly rate of 2% (w/v) until the concentration reached 100% (w/v).¹⁸ The PEG concentration in the water was continuously measured over the course of the treatment. Hull planks were impregnated for 2.5 years, while the conservation of the thicker timbers took 3.5 years.

Throughout the conservation process the temperature was adjusted according to various considerations such as the tank resistance, which was limited to a maximum of 70°C. Since the tanks were full almost to the brim, the solution level had to be decreased by evaporation in order to add the solid PEG. The necessary evaporation was achieved by raising the temperature to 60°C and removing the tank covers for 24 hours. Another factor affecting the temperature was the presence of microorganisms in the tanks, which was observed once the water became murky. Hence the temperature of the solution was raised to 40°C and the tank covers were removed for 24 hours. As a result, the PEG solution became clear. A 100% (w/v) PEG 3350 solution solidifies at 60°C, so temperature control was critical. Therefore, temperature was limited to 62°C for a 100% (w/v) PEG 3350 solution to prevent its decomposition, or the physical collapse of the plastic-coated tanks.¹⁹

17 KAHANOV 1997, 320; KAHANOV 2004, 199–200.

18 KAHANOV 1997, 320–321; KAHANOV 2004, 199.

19 KAHANOV 1997, 320–321; KAHANOV 2004, 199–200; KAHANOV 2011, 165.

17 KAHANOV 1997, 320; KAHANOV 2004, 199–200.

18 KAHANOV 1997, 320–321; KAHANOV 2004, 199.

19 KAHANOV 1997, 320–321; KAHANOV 2004, 199–200; KAHANOV 2011, 165.



Fig. 3: Y. Kahanov ve P. Peled konservasyon sonrasında bir ahşabı çıkarırken. (Foto: N. Kashtan)

Fig. 3: Y. Kahanov and P. Peled retrieving a timber after conservation. (Photo: N. Kashtan)

Emdirme işleminin ilerlemesi, haftalık aralıklarla gerçekleştirilen birkaç basit laboratuvar prosedürü ile izlenmiştir. Bu prosedürler, çözeltideki PEG konsantrasyonunun hesaplanması; sıvının azaldığı, yani buharlaşmanın durduğu kesin seviyenin kontrol edilmesi; çözeltiye daha fazla PEG ilave edilip edilmediğine bakılmaksızın 62°C 'de 1.095 g/cm^3 sabit bir değer veren çözeltinin yoğunluğunun ölçülmesi; ve çözeltinin ince bir tabakasının alüminyum bir kalıba dökülerek müze çevre koşulları altında birkaç hafta sonra ağırlık kaybının ölçülmesini içeriyordu. % 0.65'lik çok tatminkar bir ortalama ağırlık kaybı bulunmuştur.²⁰ Ahşaplar % 94 ile % 99 arasında ölçülen tipik bir emdirme kalitesi ile iyi konservasyon sonuçları ortaya koymuştur.²¹

Bu ölçümlerle iyi bir emilim sağlandığı doğrulandığında ahşaplar tanklardan çıkarılmıştır. Ahşapların konservasyon tanklarından hasar görmeden çıkarılmasında destek tablaları ve tablaların hassas bir şekilde taşınması için özel olarak tasarlanmış bir vinç kullanılmıştır (Fig. 3). PEG'in fazlası, sıcak (70°C) suya batırılmış süngerler kullanılarak silinmiştir. Ahşapların tepsiye veya desteklerine yapışmasını önlemek için çok uzun süre tek bir konumda kalmasına izin verilmemiştir. Kaburgaların her biri birkaç saat boyunca, bazı durumlarda gece boyunca kurumaya ve sertleşmeye bırakılmıştır. Bu süreden sonra, ahşaplar sıcaklığın 30°C , bağıl nemin ise % 70 olduğu iklim kontrollü bir odaya taşınmıştır. Yaklaşık bir ay sonra, koşullar 22°C 'ye ve ortalama nem oranı % 55'e ayarlanmıştır; bunlar ahşapların sergilendiği müze ortamındaki değerlere yakındır.²² Konservasyon sürecinin ne zaman durdurulacağı ve ahşabın ne zaman çıkarılıp

The progress of impregnation was monitored by several simple laboratory procedures which were carried out at weekly intervals. These procedures comprised calculating the PEG concentration in the solution; checking the exact level at which the fluid ceased to decrease, meaning evaporation had stopped; measuring the density of the solution, which gave a constant value of 1.095 g/cm^3 at 62°C , regardless of whether or not more PEG was added to the solution; and pouring a thin layer of the solution into an aluminum form and measuring weight loss after a few weeks, under museum environmental conditions. A very satisfactory average weight loss of 0.65% was found.²⁰ The timbers presented good conservation results with a typical measured impregnation quality of between 94% and 99%.²¹

As soon as these measurements confirmed that the timbers had been well impregnated, they were removed from the tanks. Support trays and a winch specifically designed for precise handling of the trays were used to remove the timbers from the conservation tanks without causing damage (Fig. 3). Excess PEG was wiped off using sponges soaked in hot (70°C) water. The timbers could not be allowed to remain in any one position for too long to prevent adherence to the tray or its supports. Each timber was allowed to dry and harden on its tray for a few hours, and in some cases overnight. After this time, the timbers were moved to a climate-controlled room where the temperature was kept at 30°C and 70% relative humidity. After about one month, the conditions were reset to 22°C and average humidity of 55%, which was similar to the museum environment where the timbers would be displayed.²² The decision when to stop the conservation process, and remove and dry the wood,

20 KAHANOV 1997, 322; KAHANOV 2004, 200–201.

21 KAHANOV 2004, 205.

22 KAHANOV 1997, 323; KAHANOV 2004, 201.

20 KAHANOV 1997, 322; KAHANOV 2004, 200–201.

21 KAHANOV 2004, 205.

22 KAHANOV 1997, 323; KAHANOV 2004, 201.

kurutulacağı kararı kritikti; çünkü PEG zamanla oda sıcaklığında neredeyse katılaştan daha düşük moleküler ağırlıklı bir malzemeye dönüşecek şekilde hızla depolimerize olabilir. Ayrıca, konservasyon sistemi beklenmedik bir şekilde arızalanmıştır (hasara neden olmadan), bu nedenle finansal yönü de önemliydi.²³

Teknenin çam bileşenleri başarıyla emdirilmiştir. Çekmenin izlenmesi, işlemin tamamlanmasından birkaç ay sonra ortalama % 2.8 hacimde büzülme oluştuğunu ve asla % 4.9'dan büyük olmadığını ortaya koymuştur. Ölçümlere devam edilmiş, konservasyon işleminin tamamlanmasından 12 ay sonra saptanan ek bir çekme olmamıştır.²⁴ Bununla birlikte, meşe bileşenlerinde farklı şekilde, yer yer kötü bir tepki izlenmiştir, bu örneklerden en kötüsü kontra omurganın tamamen çökmesi olmuştur.

GÖVDENİN YENİDEN MONTAJI

Teknenin yeniden montajı, koruma tedavisinin tamamlanmasından kısa bir süre sonra, gemi için özel bir sergi salonunun inşa edildiği Hayfa Üniversitesi'ndeki Hecht Müzesi'nde 1999 yılında başlamıştır. Montaj sırasında iki ana yol gösterici ilke, arkeolojik doğruluk ve araştırmaya erişilebilirlikti: kabul edilebilir maksimum hata 1 cm idi ve gövde eğrileri gelecekte daha ayrıntılı araştırmaya müsait olacak şekilde çıkarılabilir durumda olacaktı. J. Richard Steffy'nin özdeyişi olan "gemi sizinle konuşacak" düşüncesinden yola çıkılmış, bu düşünce benimsenmişti (Fig. 4).²⁵

was critical, as PEG can rapidly depolymerise over time to a lower molecular weight material that barely solidifies at room temperature. In addition, unexpected malfunctioning of the conservation system occurred (without causing damage), and the financial aspect was also important.²³

The pine components of the hull were successfully impregnated. Shrinkage monitoring showed that an average 2.8% volume shrinkage had occurred a few months after the completion of the treatment, and never more than 4.9%. No additional shrinkage could be measured 12 months after the finalisation of the conservation process.²⁴ However, the oak components reacted differently, sometimes poorly, with the worst example being the complete collapse of the false keel.

REASSEMBLY OF THE HULL

The reassembly of the hull started in 1999, shortly after completion of the conservation treatment, at the Hecht Museum at the University of Haifa, where a special wing had been built for the ship. Archaeological accuracy and research accessibility were the two main guiding principles of the reassembly: the maximum acceptable error was 1 cm, and the hull timbers were to be removable in order to be available for further research in the future. The ideology was J. Richard Steffy's saying – 'the ship will speak to you' (Fig. 4).²⁵



Fig. 4: J. R. Steffy ve Y. Kahanov dikiş sisteminin rekonstrüksiyonunu incelerken.
(Foto: E. Linder)

Fig. 4: J. R. Steffy and Y. Kahanov examine the reconstruction of the sewing system.
(Photo: E. Linder)

23 KAHANOV 2011, 165–166.

24 KAHANOV 1997, 324–325; KAHANOV 2004, 202.

25 VOTRUBA 2004, 211.

23 KAHANOV 2011, 165–166.

24 KAHANOV 1997, 324–325; KAHANOV 2004, 202.

25 VOTRUBA 2004, 211.



Fig. 5: N. Goltsev geminin ahşaplarını çizerken. Omurga o sırada yapı iskelesinin üzerindeki yerinde durmaktadır. (Foto: Y. Kahanov)

Fig. 5: N. Goltsev drawing a ship timber. The keel is already in place on the scaffold. (Photo: Y. Kahanov)

Üç yıllık yeniden montaj sırasında, ahşaplar, ağaç damarları, budaklar, konik pimler ve çiviler düzeyinde ayrıntılı bir şekilde belgelenerek kaydedilmiştir (Fig. 5). Tüm ahşaplar suya doymuş, dolayısıyla çok yumuşak ve kırılğan olduğundan, işlemden önce sadece çok azı ayrıntılı olarak belgelenmiştir. Bu nedenle, dokümantasyon işlemlerinin konservasyon sonrasında yapılması ahşaplara verilebilecek büyük zararları önlenmiştir. Tüm veriler konservasyondan önce tutulan kayıtlarla karşılaştırılarak tutarlılığı doğrulanmıştır.²⁶

Gövde kaplamaları diğer parçalara uyacak şekilde ayarlanarak gemi kabuk-ilk yöntemle yeniden monte edilmiştir (Fig. 6). Özellikle eğri sistemi gövdenin orjinal şekline ilişkin en doğru bilgiyi sağlamıştır. Eleman eşleştirme, eğri-kaplama çivilerinin konumları, zıvana yuvaları, zıvana dilleri ve pimler, dikiş delikleri, aşoz yerleşimleri ve diğerleri, ahşapların tam konumlarını netleştirerek montajın doğruluğunu kesinleştirmiştir. Omurga ve bodoslama topukları ilk önce geçici ayarlanabilir iskele üzerine yerleştirilerek, sonra burma kaplaması ve ardından gelen kaplamalar yerleştirilmiştir. Kontra omurga, yeniden birleştirilmiş gemiyi destekleyemeyecek kadar zayıf kabul edilerek, kontra omurganın kalınlığına karşılık gelen ara parçaları olan uzunlamasına bir ahşap monte edilmiştir. Gövde kaplamaları dıştan uzunlamasına ahşap çıtalarla desteklenmiştir. Çıtalar ayarlanabilir

During the three years of reassembly, the timbers were thoroughly documented and recorded in detail, down to the level of tree grain, knots, tapered pegs and nails (Fig. 5). Since all timbers were waterlogged and very soft and fragile, only very few could be recorded in detail before treatment. Therefore, post-conservation recording prevented considerable damage to the timbers. All data were compared to pre-conservation recording and were found to be consistent.²⁶

The ship was reassembled shell-first; the hull planks being adjusted to conform to other features (Fig. 6). In particular, the frames provided accurate information regarding the original shape of the hull. Component matching and locations of frame-plank nails, mortises, tenons and pegs, sewing holes, rabbet settings and so forth, ensured the exact locations of timbers and the precision of the reassembly. The keel and endposts were placed first on temporary adjustable scaffolding, followed by the garboard and subsequent strakes. The false keel was considered too weak to support the reassembled ship, and therefore a longitudinal timber with spacers corresponding to the thickness of the false keel, was installed. Longitudinal wooden battens supported the outside of the hull planking. The battens were connected to transverse supports by adjustable slides. The supports, made of medium-density fibreboard (MDF), followed the original shape of the frames, but about 15 cm outside the hull.

²⁶ KAHANOV 2011, 164.

²⁶ KAHANOV 2011, 164.



Fig. 6: Gövde kaplamalarının kurulumunda üçüncü sancak kaplama sırasının düzenlenmesi. (Foto: E. Linder)
Fig. 6: Installing the hull planks composing the third starboard strake. (Photo: E. Linder)

sürgülerle enine desteklere bağlanmıştır. Orta yoğunlukta lif levhadan (MDF) yapılan destekler eğrilerin orijinal şeklini izlemiştir; ancak gövdenin yaklaşık 15 cm dışındadır. Genellikle her kaplamada bir tane olan çitılar, baştan kıça kadar gövde hatlarını takip etmiştir. Konservasyonu yapılmış ahşabın artan ağırlığını, azalan dayanımını ve şimdi işlevsiz kalan zıvanalı birleştirmelerini telafi ederek, gövde kaplamaları ve daha sonra monte edilen iç bileşenlere destek sağlamışlardır (Fig. 7). Gövde kaplamaları birbirine sabitlenmemiştir; üst kaplamalar ağırlıklı olarak alttaki kaplamalar üzerinde desteklenmiştir. Eğri sistemi kaplama üzerine, diğer iç bileşenler de eğri sistemine ve omurgaya yaslanmıştır.²⁷

Kazı, kurtarma ve konservasyon süreçleri sırasında, esas olarak başta ve kıça bulunan gövde kaplamalarının bazıları, orijinal üç boyutlu şekillerini kaybetmiştir. Bu ahşaplar 24 ila 48 saat süreyle PEG 4000 emdirme tanklarında 62 ° C'ye kadar yeniden ısıtılarak yumuşatılmış ve yeniden şekillendirilmiştir.

The battens, usually one per strake, followed the lines of the hull from stem to sternpost. They provided support for the hull planks, compensating for the lack of strength and increased weight of the conserved wood, and the now dysfunctional mortise-and-tenon joints, as well as for the internal components which were installed later (Fig. 7). The hull planks were not fastened to each other; the upper planking being supported mainly on the planking below. Frames rested on the planking, and other internal components on the frames and keel.²⁷

During the excavation, retrieval, and conservation processes, some of the hull planks, mainly in the bow and stern, lost their original artificially-bent three-dimensional shape. These timbers were softened by re-heating to 62°C in PEG 4000 for 24 to 48 hours and re-shaped. In order to reshape the planks, moulds made of plywood sheathed with polyethylene on the outside were constructed on the scaffold over the bow and the stern areas.

²⁷ KAHANOV 2011, 166; VOTRUBA 2004.

²⁷ KAHANOV 2011, 166; VOTRUBA 2004.

Kaplamaları yeniden şekillendirmek için, dışta polietilen ile kaplanmış kontrplaktan yapılmış kalıplar, baş ve kık alanlar üzerinde iskele üzerine inşa edilmiştir. Kalıbın şekli mevcut eğri sisteminin şekline göre yapılmış, mevcut gövde kaplamalarına uyacak şekilde düzgün devam etmiştir. Sıcak ahşabın PEG'den çıkarıldıktan sonra 15 dakika içinde kalıba takılması gerekiyordu; bu da yüksek seviyede bir hassasiyet gerektirmiştir. Düzgün bir şekilde yerleştirildikten, bağlandıktan ve stabilize edildikten sonra, ahşabın 24 saat soğumasına ve katılaşmasına izin verilmiştir. Yeniden ısıtma sadece ahşabı esnek hale getirmekle kalmamış, aynı zamanda zıvana ve ahşap çivi gibi çeşitli bileşenleri serbest bırakmıştır; böylece analiz için güvenli bir şekilde çıkarılmalarını sağlamıştır.²⁸

The form of the mould was based on the shape of the extant frame, with a smooth continuation to match existing strakes. The hot timber had to be fitted to the mould within 15 minutes after its removal from the PEG, which demanded a high level of precision. After it was properly located, fitted and stabilized, the timber was allowed to cool and solidify for 24 hours. Reheating not only made the timber flexible, but also freed various components such as tenons and pegs, allowing them to be safely removed for analysis.²⁸

28 KAHANOV 2011, 166–167; VOTRUBA 2004, 214–217.

28 KAHANOV 2011, 166–167; VOTRUBA 2004, 214–217.



Fig. 7: Iskaçasının montajı yapılırken. (Foto: E. Linder)
Fig. 7: Installing the mast-step. (Photo: E. Linder)

Batık 2002 yılından beri müzede halka açık bir şekilde sergilenmektedir. 2006 yılında yüklü bir bağış temin edildikten sonra geminin sergilenmesinde kullanılmak üzere yeni ve kalıcı bir metal destek konstrüksiyon imal edilmiştir. Ana hatlarının ziyaretçilere orijinal geminin şekli hakkında bir fikir vermesini sağlamak için orijinal eğri sistemini devam ettiren, sadece 7 cm dışarda olan ince çelik kaburgalar monte edilmiştir. Kontra omurganın yerini her iki yanı meşe ağacından ahşapla monte edilmiş çelik I-kiriş almıştır. Metal kaburgalara yerleştirilen ayarlanabilir vidalı madeni destekler ve boyuna çelik çubuklar kullanılarak gövde plakaları desteklenmiştir (Fig. 8). Çelik çubukların T şeklinde bir kesiti vardır ve 3 cm genişliğindedir. Metal ve kereste arasındaki temas etilen-propilen dien monomer kauçuktan (EPDM) imal edilen ara parçalar kullanılarak önlenmiştir. Bitişik bileşenler arasındaki göreceli ayarlamalar sonucunda üç boyuttaki maksimum uyumsuzluk 1 cm'in altında kalmıştır; bu da *in situ* olarak kaydedilen orijinal geminin marangozluğunun doğruluğuyla uyumludur.²⁹

The ship has been on public display at the Museum since 2002. In 2006, following a generous donation, a new permanent metal support frame was built to display the ship. Thin steel frames that followed the shape of the original frames, now only 7 cm outside the extant timbers, were installed, and their outline provides visitors with an idea of the shape of the original ship. A steel I-beam with new oak timber attached on both sides replaced the false keel. Adjustable screwed metal struts set on the metal frames and longitudinal steel battens support the hull planks (Fig. 8). The steel battens have a T-shaped cross-section and are 3 cm wide. Contact between the metal and the timbers was prevented by using ethylene-propylene diene monomer rubber (EPDM) spacers. Relative adjustments between adjacent components resulted in a maximum accumulated mismatch in three dimensions of less than 1 cm, which matched the accuracy of the carpentry of the original ship as recorded *in situ*.²⁹



Fig. 8: Sancak kaplamalarını ve iki küpeşteyi destekleyen ayarlanabilir vidalı madeni braketler ve tirizler. (Foto: J. Tresman)

Fig. 8: The adjustable screwed metal struts and steel battens supporting the starboard strakes and the two wales. (Photo: J. Tresman)

Doğru sonucu elde edebilmek için gövde üç kez sökülerek dört kez yeniden monte edilmiştir. Gemi üzerinde yapılan çalışmaya ve sergilenmesine ek olarak, yeniden monte edilmesi, bağlantılı özellikler arasındaki ilişkilerin öğrenilmesi açısından bir fırsat oluşturmuştur. Tekneden ayrı bulunan iki önemli ahşap elemanın yerleştirilmesi, bu tür analizlerin doğrudan bir sonucudur. Bunlardan birincisi dördüncü iskele kaplama sırasının baş kısmında gövdede en yüksek konumdaki dikiş yeri ile ilgili kanıtı sağlamaktadır. İkincisi ise şu anda yerine güvenli bir şekilde yerleştirilmiş olan ikinci küpeştenin geriye kalan yegane parçasıdır. Ayrıca omurganın kalıcı desteğinin üzerine yerleştirilmesinin son aşamasında geminin uzunlamasına giderek incelen bir yapıya sahip olduğu keşfedilmiştir: boylamasına kıçta 11.2 cm başta ise 10.4 cm, enlemesine ise kıçta 16.5 cm başta ise 14.2 cm. Direk yardımcı elemanı–(bir enine kiriş) ve dikmeden yola çıkılan son bir kritik çapraz kontrol, tüm yeniden montajın uygunluğunu doğrulamıştır (Fig. 9).³⁰

The hull was reassembled four times and dismantled three times to achieve accuracy. In addition to the study of the ship and its display, the reassembly was an opportunity to learn about relationships between associated features. The placement of two important timbers found separated from the hull was a direct result of such analysis. The first was the foremost section of the port fourth strake, providing evidence of the highest location of sewing in the hull. The second was the only remaining piece of the second wale, now reliably located. It was also discovered at the final stage of placing the keel on its permanent support, that it was slightly tapered along its length: sided 11.2 cm at the stern and 10.4 cm at the bow, and moulded 16.5 cm at the stern, and 14.2 cm at the bow. A final crucial cross-check based on the mast partner (a transverse beam) and its supporting vertical stanchion confirmed the accuracy of the whole reassembly (visible in Fig. 9).³⁰



Fig. 9: Hecht Müzesi'nde sergilenen orijinal Ma'agan Mikhael batığı. (Foto: A. Efremov)

Fig. 9: The original Ma'agan Mikhael ship on display at the Hecht Museum. (Photo: A. Efremov)

³⁰ KAHANOV 2011, 167.

³⁰ KAHANOV 2011, 167.

KAPANIŞ NOTLARI

Batıkların sualtı kazısı pahalı ve zorlu bir iştir. Tekne kalıntılarının kurtarılması, konservasyonu, restorasyonu ve sergilenmesi aşamalarının hepsi zorludur. Ayrıntılı ön planlama zamandan ve maliyetten tasarruf sağlar ve arkeolojik buluntulara zarar gelmesini önler. Buna ek olarak, gemi ahşaplarının konservasyondan önce ve sonra ve yeniden montaj sırasında titizlikle belgelenmesine verilen önem, gövde kalıntılarının incelenmesi açısından gereklidir. Ma'agan Mikhael batığında da görüldüğü gibi, ahşaplar konservasyon veya yeniden ısıtma sonrasında hala sıcak ve yumuşak olduğunda, gövdenin kavelalar ve ahşap çiviler gibi çeşitli bileşenlerini orijinal konumlarından çıkarmak mümkün olmuştur. Bu durum, birçok parçanın ayrıntılı olarak incelenmesini ve orijinal olarak bulundukları yerlerle ilişkilendirilmesini mümkün kılmıştır.

PEG ile çalışırken 60°C'nin üzerinde bozunma eğilimi gösterdiği ve sağlık riski olan formaldehit yaydığı için önlemler alınmalıdır. Örneğin, çözelti seviyesini düşürmek için çözelti kontrollü şekilde buharlaştırılmış, böylece çözelti konsantrasyonu doğrudan PEG eklenerek artırılabilmiştir. Bu uygulama PEG'in değil, sadece suyun buharlaştığı varsayımına dayalıdır. Konservasyon odasının tavanında PEG damlaları gözlemlendiği için bu uygulamanın yanlış olduğu anlaşılmıştır. Bu nedenle, kısa süreli maruz kalma ve sürekli çalışma koşulları için havada maksimum formaldehit konsantrasyonlarını belirleyen özel düzenlemelere uyulmalı, bu da tespit cihazlarının takılmasını ve sürekli hava izlemesini gerektirmektedir.³¹

Ma'agan Mikhael gemisinin (*Ma'agan Mikhael II*) tam ölçekli bir yelkenli kopyasını inşa etmek, batığın keşfedildiği ve öneminin anlaşıldığı andan itibaren bir amaç haline gelmiştir. Projenin asıl ilham kaynağı Dr. Linder'den gelmiştir; onun yerine gelen Profesör Kahanov, neredeyse replikanın lansman tarihine kadar devam ederek, onun vizyonunu zamansız ölümünden önce uygun bir şekilde yerine getirmiştir. Replika geminin inşası "kabuk-ilk" teknik kullanılarak iki yıl (2014-2016) sürmüştür. Bugüne kadar replika ile İsrail sahillerinde 50'nin üzerinde yelkenli seyahati yapılmıştır; ayrıca Kıbrıs'a da bir yolculuk yapılarak antik dönem yelkenli teknikleri üzerinde gerekli bilgiler elde edilmiştir. Bu Ma'agan Mikhael gemi projesinde geline son aşamadır.

CLOSING REMARKS

An underwater excavation of a shipwreck is an expensive and demanding task. The retrieval, conservation, restoration and exhibition of the hull remains are all challenging. Detailed pre-planning saves time and costs and prevents damage to the archaeological finds. In addition, emphasis given to meticulous recording of the ship timbers, before and after conservation, as well as during the reassembly, is essential for the study of the hull remains. As demonstrated by the Ma'agan Mikhael shipwreck, when the timbers were still hot and soft after conservation or reheating, it was possible to extract various components of the hull, such as tenons and pegs, from their original locations. This made it possible to examine many parts in detail and relate them to the locations in which they were originally found.

Precautions should be taken when dealing with PEG, as it tends to decompose above 60°C, emitting formaldehyde, which is a health risk. For example, controlled evaporation of the solution was used in order to decrease the solution level, so the solution concentration could be increased by directly adding PEG. This was based on the assumption that only water evaporates, and not the PEG. This was found to be incorrect, as drops of PEG were observed on the ceiling of the conservation room. Therefore, specific regulations stipulating maximum concentrations of formaldehyde in air for short time exposure and continuous working conditions must be adhered to, necessitating installation of detection instruments and continuous air monitoring.³¹

Building a full-scale sailing replica of the Ma'agan Mikhael ship (*Ma'agan Mikhael II*) was an aim from the moment the shipwreck was discovered and its significance understood. The original inspiration for the project came from Dr. Linder, who was succeeded by Professor Kahanov, who carried it through almost to the date of the launch of the replica before his untimely death. The construction of the replica ship took two years (2014–2016), using the 'shell-first' technique. To date the replica has made more than 50 sailings along the Israeli coast and a voyage to Cyprus, which have provided essential information on ancient sailing techniques. This is the final ongoing stage in the Ma'agan Mikhael ship project.

31 KAHANOV 2011, 168.

31 KAHANOV 2011, 168.

TEŞEKKÜRLER

Ma'agan Mikhael gemisinin kazılması, araştırılması, korunması ve sergilenmeye hazırlanması, Londralı merhum Lord Anthony Jacobs'un desteğiyle mümkün olmuştur. Ayrıca, proje Kibbutz Ma'agan Mikhael, İsrail Bilim Vakfı, Hecht Vakfı, merhum Sammy Ofer ve Hayfa Üniversitesi tarafından da desteklenmiştir. Hepsine minnettarız. Yazar, John Tresman'a İngilizce redaksiyon için teşekkür eder.

ACKNOWLEDGEMENTS

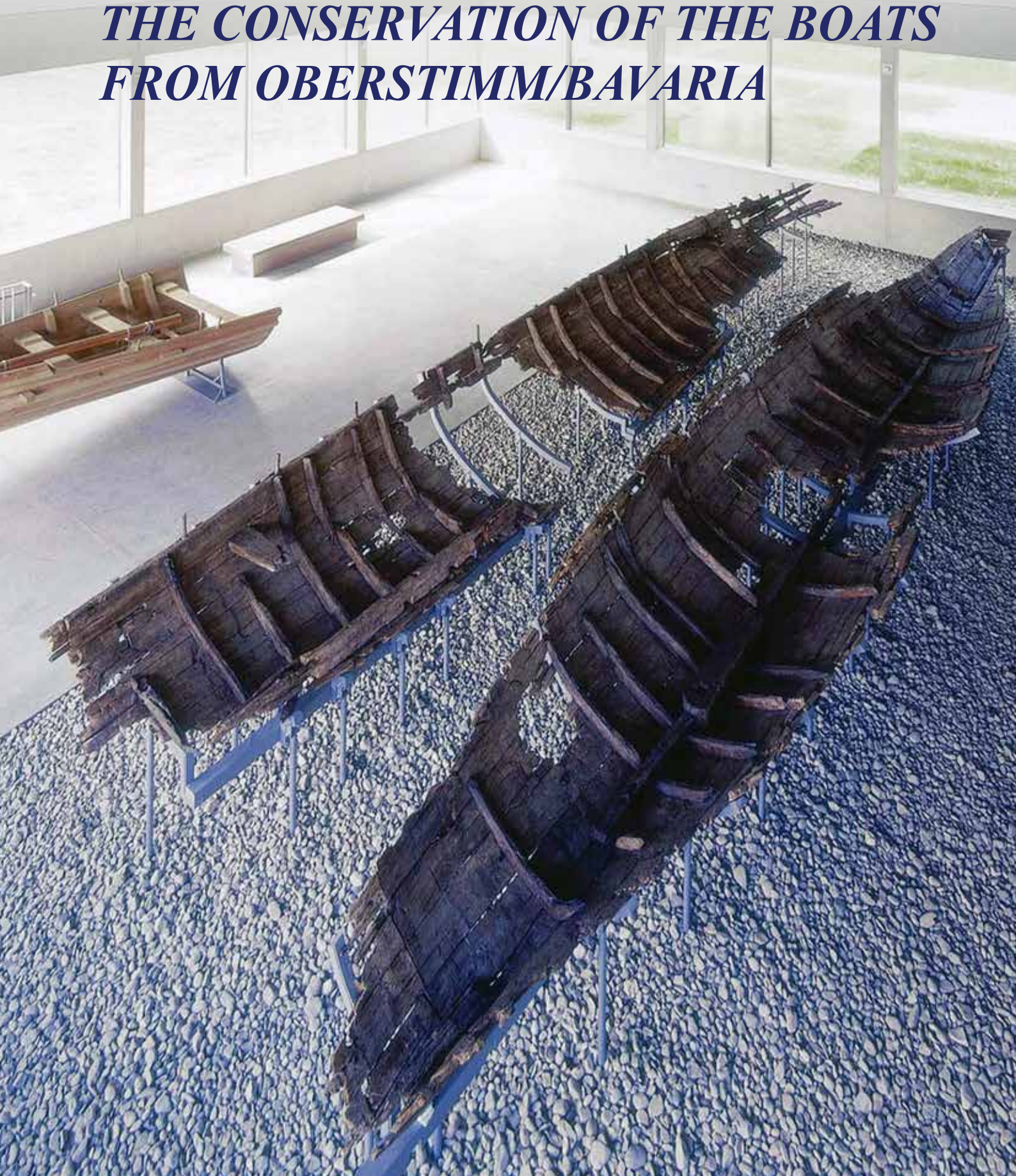
The excavation, research, conservation, and preparation of the Ma'agan Mikhael ship for display was made possible by the support of the late Lord Anthony Jacobs of London. In addition, the project was supported by Kibbutz Ma'agan Mikhael, the Israel Science Foundation, the Hecht Foundation, the late Sammy Ofer, and the University of Haifa. We are grateful to them all. The author would like to thank John Tresman for the English editing.

KAYNAKÇA-BIBLIOGRAPHY

- ARTZY - LYON 2003 Artzy, M., Lyon, J., "The Ceramics", in Linder, E., Kahanov, Y., *The Ma'agan Mikhael Ship. The Recovery of a 2400-year-old Merchantman: Final Report Volume 1*, Jerusalem, 2003, 183–202.
- HILLMAN - LIPHSCHITZ 2004 Hillman, A., Liphshitz, N., "The Wood", in Kahanov, Y., Linder, E., *The Ma'agan Mikhael Ship. The Recovery of a 2400-year-old Merchantman: Final Report Volume 2*, Jerusalem, 2004, 145–155.
- HOFFMANN 1986 Hoffmann, P., "On the Stabilization of Waterlogged Oakwood with PEG. II. Designing a Two-Step Treatment for Multi-Quality Timbers", *Studies in Conservation*, Vol. 31, No. 3, 1986, 103–113.
- KAHANOV 1997 Kahanov, Y., "Wood conservation of the Ma'agan Mikhael shipwreck", *International Journal of Nautical Archaeology*, Vol. 26, No. 4, 1997, 316–329.
- KAHANOV 2003 Kahanov, Y., "The Hull", in Linder, E., Kahanov, Y., *The Ma'agan Mikhael Ship. The Recovery of a 2400-year-old Merchantman: Final Report Volume 1*, Jerusalem, 2003, 53–129.
- KAHANOV 2004 Kahanov, Y., "Conservation", in Kahanov, Y., Linder, E., *The Ma'agan Mikhael Ship. The Recovery of a 2400-year-old Merchantman: Final Report Volume 2*, Jerusalem, 2004, 195–206.
- KAHANOV 2011 Kahanov, Y., "Ship reconstruction, documentation, and in situ recording", in Catambis, A., Ford, B., Hamilton, D. L. (eds), *The Oxford Handbook of Maritime Archaeology*, Oxford 2011, 161–181.
- KAHANOV - POMEY 2004 Kahanov, Y., Pomey, P., "The Greek sewn shipbuilding tradition and the Ma'agan Mikhael ship: A comparison with Mediterranean parallels from the sixth to the fourth centuries BC", *Mariner's Mirror*, Vol. 90, No. 1, 2004, 6–28.
- GRATTAN 1987 Grattan, D. W., "Waterlogged wood" in Pearson, C. (ed), *Conservation of Marine Archaeological Objects*, London, 1987, 55–67.
- ROSLOFF 2003 Rosloff, J. P., "The Anchor", in Linder, E., Kahanov, Y., *The Ma'agan Mikhael Ship. The Recovery of a 2400-year-old Merchantman: Final Report Volume 1*, Jerusalem, 2003, 140–146.
- SHIMRON – AVIGAD 2003 Shimron, A. and Avigad, D., "The Rock Assemblage", in Linder, E., Kahanov, Y., *The Ma'agan Mikhael Ship. The Recovery of a 2400-year-old Merchantman: Final Report Volume 1*, Jerusalem, 2003, 153–182.
- VOTRUBA 2004 Votruba, G. F., "Reassembly of the Hull", in Kahanov, Y., Linder, E., *The Ma'agan Mikhael Ship. The Recovery of a 2400-year-old Merchantman: Final Report Volume 2*, Jerusalem, 2004, 211–220.

OBERSTIMM/BAVYERA'DAN TEKNELERİN KONSERVASYONU

THE CONSERVATION OF THE BOATS FROM OBERSTIMM/BAVARIA





* Markus Wittköpper

Anahtar kelimeler: Roma batıkları, suya doymuş ahşap konservasyonu, melamin reçinesi, Kauramin.

Keywords: The Roman ships, waterlogged wood conservation, melamine resin, Kauramin.

ÖZET

Bavyera’da Brautlach nehrinin yatağında 1986 yılında gerçekleştirilen sondaj kazılarında iki adet gemi kalıntısı Roma dönemi kalesinin yakınlarında gün ışığına çıkartılmıştır. Suya doymuş durumdaki ahşaplar göreceli olarak iyi korunmuş olarak belirlenmiştir. Kazı çalışmalarına 1994 yılında başlanan batıklar bölümler halinde yerinden kaldırılmıştır. Dendrokronoloji analizlerine göre MS 2. yüzyılın başına tarihlenen gemiler muhtemelen Tuna boyunca Roma İmparatorluğu’nun savunma sisteminde kullanılmıştır. Gemi parçaları Roma Cermen Merkez Müzesi’ndeki (RGZM) konservasyon laboratuvarına taşınarak, son 50 yıldır Almanya-Mainz’da rutin olarak uygulanan melamin reçinesi (Kauramin®) ile koruma altına alınmış ve sergilemeye hazır hale getirilmiştir.

ABSTRACT

The 1986 sounding excavations in the Bavarian Brautlach River’s riverbed yielded two Roman Period shipwrecks near the castle. The waterlogged wood was relatively well preserved. The excavations were initiated in 1994, and the shipwrecks were dismantled and removed in pieces. The dendrochronological analyses showed that the ships which were dated to the 2nd century A.D. were probably used for the defense system of the Roman Empire along the Danube River. The fragments of the shipwrecks were transported to the conservation laboratory in the Roman-Germanic Central Museum (RGZM) to undergo a conservation process with melamine resin (Kauramin®), which has been routinely used in Mainz, Germany during the past 50 years, and be displayed in an exhibition.

* Markus Wittköpper, ORCID ID: 0000-0002-9706-3213, Arkeolojik Restorasyon Uzmanı, Roma-Germen Merkez Müzesi

* Markus Wittköpper, ORCID ID: 0000-0002-9706-3213, Archaeological Restorer, Romano-Germanic Central Museum

Bavyera eyaletinin Oberstimm bölgesindeki Roma Dönemi kalesinde yapılan araştırma kazısı sırasında iki gemi batığı keşfedilmiştir. Batıklar 2. yy'ın başlarına tarihlenmiştir. Tekneler Akdeniz tarzında inşa edilmişlerdir; gövde zıvanalı birleştirme tekniğiyle oluşturulduktan sonra, iç ahşap elemanlar ile sağlamlaştırılmıştır. Iskarmozların sayısı yaklaşık 20 kişilik kürekçi mürettebatına işaret etmesine ilaveten, iç omurgadaki ıskaçalar teknelerin yelken ile seyir edebileceklerini de göstermektedir. Narin yapılı, gemiler muhtemelen Tuna boyunca Roma İmparatorluğu'nun savunma sisteminde kullanılmıştır. Yeraltı suyu tablasındaki seviyenin düşmesi ahşabın *in situ* korunmasına engel olduğundan, 1994 yılında Bavyera Eski Eserler İdaresi, Roma Cermen Komisyonu ve Roma Cermen Merkez Müzesi-Mainz'ın (RGZM) ortak bir kampanyasında, iki geminin kazılarak kurtarılmasına karar verilmiştir (Fig. 1).

Her iki gemi de yaklaşık 15 m uzunluk ve 2.50 m genişlikte korunmuşlardı. Alttaki Gemi 1, yana yatmış, sancak yanı tamamen korunmuş, iskele yanı ise tümüyle bozunmuştu. Gemi 2'nin her iki yanındaki borda kaplamaları da yok olmuşlardı. Kaplamalar ve iç omurga çam ağacından yapılmıştı; diğer yandan eğriler, omurga ve kemere kirişleri meşe ağacındandı. Eğriler kaplamalara ahşap çivilerle sabitlenmişlerdi.

Two ship wrecks were found in the course of a survey excavation at the Roman castellum at Oberstimm in Bavaria. They were dated to the beginning of the 2nd century. The boats were built in the Mediterranean fashion – the hull assembled in mortise-and-tenon technique, and thereafter stabilised with interior timbers. The number of tholepins indicates a rowing crew of about 20, mast steps in the keelson show that the boats could be sailed as well. The slender ships were probably used in the defence system of the Roman Empire along the Danube. A falling ground water table threatened the preservation of the wood *in situ*, and therefore it was decided to excavate and salvage the two ships in a 1994 joint campaign of the Bavarian Antiquities Authority, the Roman Germanic Commission, and the Roman Germanic Central Museum Mainz (RGZM). (Fig. 1)

Both ships were preserved to a length of about 15 m, with a width of about 2.50 m. The lower Ship 1 had tilted to one side, the starboard side fully preserved, the port side completely decomposed; on ship 2 the top planks on both sides were lost. Planks and keelson were made of pine, whereas frames, keel and cross-beams were of oak. The ribs were fastened to the hull with treenails.



Fig. 1: Oberstimm'de *in situ* Roma gemileri. Gemi 1 altta, Gemi 2 üstte. Fark edilene kadar, iş makinesinin kepçesi batıkların orta kısmına hasar vermiştir. (Foto: A. Mittermüller LFD Ingolstadt)

Fig. 1: The Roman ships from Oberstimm *in situ*. Ship 1 below, ship 2 on top. A construction excavator had gone right through them before they were noticed. (Photo: A. Mittermüller LFD Ingolstadt)

Ahşapların korunmuşluk durumlarında ise farklılıklar vardı. Yeraltı suyu tablasındaki değişim nedeniyle ahşap gemi parçaları yer yer oksijenle temas ettiklerinden tamamen çürümüştü. Baş tarafları neredeyse tamamen yok olmuştu veya ciddi biçimde bozunmaya uğramışlardı; yoğunlukları ise bataklık kömürünü andırıyordu. Geminin orta kısmındaki çam kaplamalar nasılsa daha az bozunmaya uğramışlardı. 2 no.lu gemideki çamdan yapılmış iç omurganın öz kısmı oldukça iyi korunmuştu. Ancak meşe tahtalar ciddi şekilde bozunmuştu. Omurganın sadece bazı bölümlerindeki ahşap lifleri bir dereceye kadar sağlamlığını korumuştur. Üst üste binmiş haldeki iki geminin tek bir kütle halinde kaldırılması; kalıntının büyüklüğü göz önüne alındığında imkânsızdı; gemilerin sökülmesi ise kaplamaların özgün ahşap bağlantılarının yok edilmesi anlamına geliyordu (Fig. 2). Parçalı kurtarma aklı en yakın çözüm gibi gözüküyordu.

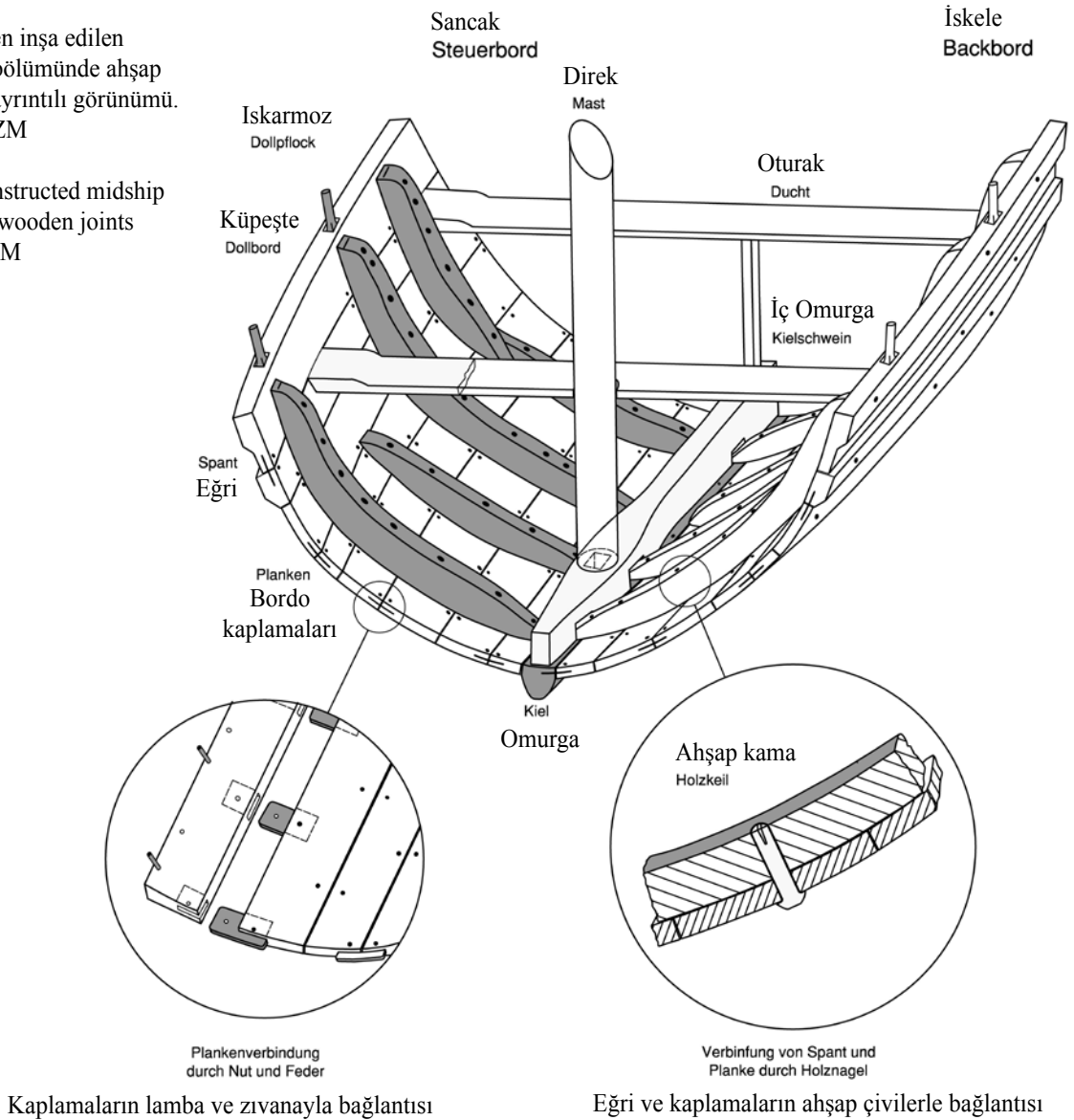
The state of preservation of the wood varied. Due to the changing water table, the wooden ships' parts that were intermittently in contact with oxygen were totally decomposed. The prows had almost disappeared or were heavily degraded; their consistency resembled peat. The pine strakes amidships were somewhat less degraded. The pine keelson in ship 2 was quite well preserved in its core. The oak timbers, however, were heavily degraded. Only in a few parts did the keel still show wood fibres of some strength.

Lifting the two overlapping ships en bloc was impossible in view of the size of the complex, and dismantling the ships would have meant destroying the typical wooden joints of the timbers. (Fig2).

Salvage by removal in segments seemed to be the most reasonable approach.

Fig. 2: Yeniden inşa edilen geminin orta bölümünde ahşap bağlantıların ayrıntılı görünümü. K. Hölzl, RGZM

Fig. 2: Reconstructed midship area, detailed wooden joints K. Hölzl RGZM



Kaplamaların lamba ve zıvanayla bağlantısı

Eğri ve kaplamaların ahşap çivilerle bağlantısı

Rekonstruktion eines Rumpfausschnittes von Schiff 1.
Die erhaltenen Teile sind mit Raster unterlegt.

1.gemiden bir gövde kesitinin rekonstrüksiyonu
Ele geçen parçalar tarama ile gösterilmiştir.

1986'da bir iş makinesi, gövdeleri zaten ikiye ayırmıştı ve pruva parçaları çok aşırı bozunduğundan, onlar da gemi gövdesinden ayrılmıştı. Her gemi mevcut haliyle yaklaşık 6 m uzunluğunda iki gövde parçası ve 2 -2.5 m uzunluğunda iki pruvadan oluşuyordu. Bu kesimler Strafor destekler ve koruyucu tabakalar arasında sandviç haline getirildi ve ahşap eğrilere güvenli bir şekilde tutturuldu (Fig. 3, 4). Ölçüm verilerine dayanarak, zayıflamış gemi biçimsel şekil değiştirmesini ve çarpılmasını önlemek için tam olarak oturan köpük yataklar ile desteklenmiştir (Fig. 5)

Gemi parçaları RGZM'deki konservasyon bölümüne kamyonlar içinde tek tek taşındı. Melamin reçinesi ile suya doymuş ahşap konservasyonu, 50 yıldır Almanya-Mainz'da Roma Cermen Merkez Müzesi'nin rutin olarak uyguladığı bir metottur.

Parçalar temizlendi; ahşap tanklar her biri için özel olarak imal edildi ve ağır hizmet tipi folyo ile kaplandı. Bu hazırlık çalışması dört personel ile yaklaşık sekiz ay sürdü. En büyük tank 6.5 m³, hepsi birlikte yaklaşık 20 m³ kapasiteye sahipti. Artık gemiler suyun içerisinde beklediğinden, kurumaya karşı önlem alınmış, hatırı sayılır bir yüzdürme sağlayan Strafor kaburgalar, gemiye dokundukları yerde yastıklama yapan PVC kaburgalarla değiştirilebilirdi (Fig. 6).

Yeni destek kaburgaları, zemin basıncıyla yer değiştiren gövde kalaslarını orijinal konumlarına yerleştirilebilecek şekilde uyarlandı (Fig. 7).

In 1986, an excavation machine had already cut the hulls in two, and as the prow parts were so extremely degraded, they, too, were separated from the midship sections. Each ship now consisted of two midship segments of about 6 m length, and two prow segments of 2 -2.5 m length. These segments were sandwiched between styrofoam ribs and protective sheets, and securely fastened to wooden frames. (Fig.3, 4)

Based on measurement data, precisely fitting foam beds were milled to avoid deformation and distortion of the weakened ship wrecks. (Fig.5)

One by one the segments were transported on trucks to the conservation department at the RGZM. Stabilising waterlogged wood with melamine resin has been the routine method of the Roman Germanic Central Museum in Mainz, Germany for 50 years.

The segments were cleaned, and wooden tanks were fitted around each of them and lined with heavy-duty foil. This preparatory work took four men about eight months. The largest tank held 6.5 m³, all together about 20 m³. Now that the ships lay in water, safe against drying, the styrofoam ribs, which caused considerable buoyancy, could be exchanged for PVC ribs, cushioned where they touched the ship. (Fig.6) The new ribs were tailored in such a way that hull planks, which had been displaced by earth pressure, could be replaced in their original position. (Fig.7)

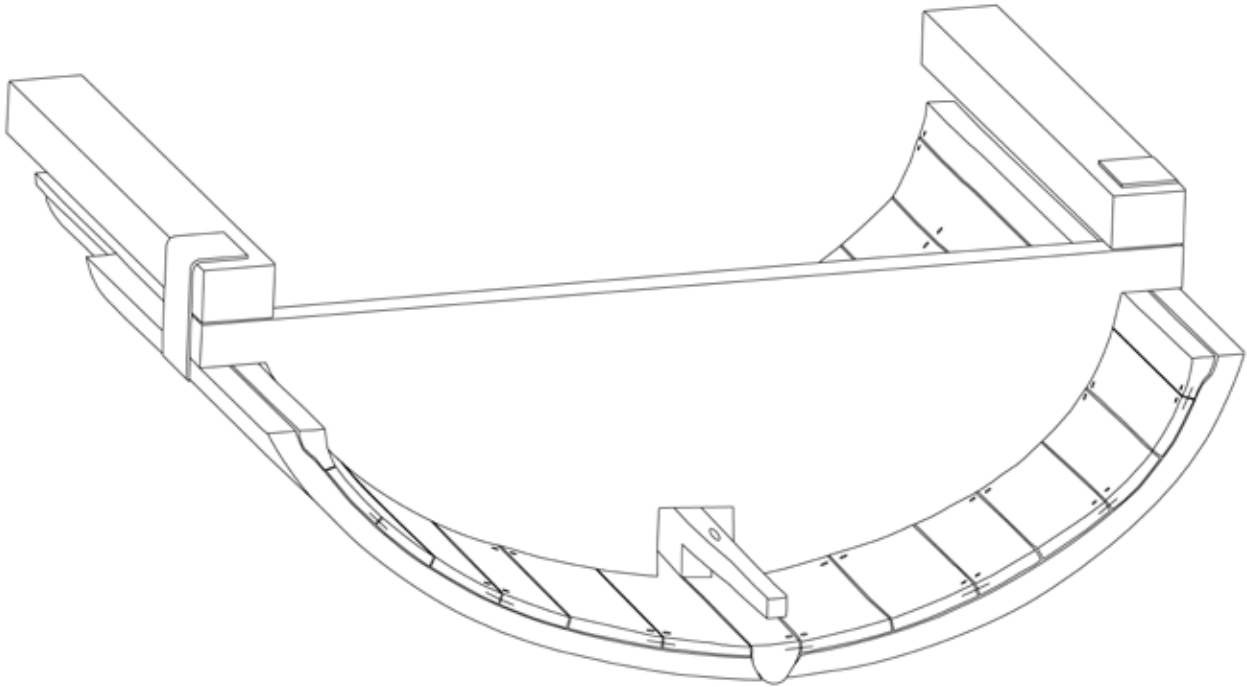


Fig. 3: Kurtarma konstrüksiyonunun illüstrasyonu. K. Hölzl, RGZM

Fig. 3: Drawn illustration of the salvage construction K. Hölzl RGZM

Bu çalışma süresince ahşaplar, gömülme sırasında içeri sızan kir ve yabancı maddelerden temizlenmesi için deiyonize su içinde bekletilmişti. Yıkama suyunun pH ve iletkenlik sabit kalana kadar beş banyoya ihtiyaç duyulmuştur. Eylül 1996'da Gemi 2'ye Kauramin¹ ile işlem yapılmaya başlandı.

Farklı oranlarda bozunmaya uğramış olan tüm ahşaplar aynı arındırma prosedüründen geçirildi. Reçine ön-polimeri, bozunmamış ahşabı dahi emprenye eder ve aynı Kauramin konsantrasyonu farklı nitelikteki ahşapların stabilizasyonu için de idealdir. Reçine çözeltisi ile çalışırken herhangi bir sorun yaşanmamıştır: aşındırıcı değildir ve oda sıcaklığında kullanılabilir. Sıradan bir sulama pompasıyla, bileşenler 2.000 litrelik bir kazana doldurularak, karıştırılmış ve emprenye tanklarına pompalanmıştır. 12.000 litre % 25 çözelti için yaklaşık 3.000 litre Kauramin-5549, 8.000 litre deiyonize su ile seyreltilmiştir; viskoziteyi düşürmek için % 5 üre ve çözeltinin kürleşme süresini uzatmak için bir alkali tampon olarak % 1 trietanol amin ilave edilmiştir. Trietanol amin olmadan bir Kauramin çözeltisi yaklaşık 2-4 ay kürleşmeden kalabilmektedir. 7-9 aylık bir emprenye planlandığı için, bu tamponun eklenmesi gerekmiştir (Fig. 8).

Emprenye süresini en kalın ahşap eleman için uygun olan süre belirler; bu tanıma uyan parça 2 no.lu geminin 16 cm çapındaki iç omurgasıdır. Azot analizleri, melamin reçine moleküllerinin bozulmuş ağaçlara ayda yaklaşık 1 cm nüfuz ettiğini göstermiştir. Bu durumda sekiz ay içinde, iç omurganın özüne emdirilmiş olmalıdır. Haftada bir kez banyo çözeltisinin yoğunluğu ve pH'ı ölçülerek "kürleşme testi" yapılmıştır.² Yoğunluğun gelişimi, emprenyenin değerlendirilmesinde yardımcı olur; pH-değeri ve "kürleşme testi" ise çözeltinin kararlılığı hakkında bilgi verir. Melamin reçineleri asitle kürlenir; dolayısıyla emprenye işlemi sırasında pH alkaline tutulmalıdır. Aksi takdirde polimerizasyon başlar ve reçine artık suda çözünür vasfını kaybederek, çözelti bozulur. 9. ve 10. aylarda pH 7.5 ile 7.0 ve "kürleşme testi" pozitif olduğunda gemi 2'nin parçaları tanklardan çıkarılmıştır. Bu aşamada, reçine kalıntıları ahşap yüzeyinden hala kolayca yıkanabilir. Doğru zaman kaçırılırsa, sadece büyük çaba ile uzaklaştırılabilecek yapışkan bir reçine tabakası oluşması ise kaçınılmazdır.

Hücre duvarlarındaki reçinenin çapraz bağlanması için emprenye işleminden sonra bir ısıtma işlemi uygulanmıştır.

During this work, the wood was already lying in de-ionised water to clean it from dirt and substances which had infiltrated it during the burial. Five baths were needed until pH and conductivity stayed constant in the washing water. In September 1996 the Kauramin¹ treatment of ship 2 began.

Wood in all stages of degradation was treated in the same bath. The resin pre-polymer impregnates even non-degraded wood, and the same Kauramin concentration is optimal for the stabilisation of different wood qualities. Working with the resin solution was unproblematic; it is not corrosive and was handled at room temperature. With an ordinary garden pump the components were filled into a 2000 litre vat, mixed, and pumped into the impregnation tanks. For 12000 litres of 25 % solution, about 3000 litres of Kauramin 5549 were diluted with 8000 litres of de-ionised water; 5 % urea were added to lower the viscosity, and 1 % triethanol amine as an alkaline buffer to prolong the stability of the solution. Without triethanol amine a Kauramin solution is only stable for about 2 – 4 months. As we planned an impregnation of 7 – 9 months, the addition of a buffer was necessary. (Fig.8)

The impregnation time is governed by the thickest timber, in this case the keelson of ship 2 at 16 cm in diameter. Nitrogen analyses have shown that melamine resin molecules penetrate degraded wood by about 1 cm per month. In eight months, the keelson should have been impregnated to its core. Once per week the density of the solution bath and its pH were measured, and the 'cloud test' made. The development of the density helps to assess impregnation progress, the pH-value and the 'cloud test' inform on the stability of the solution. Melamine resins are acid-cured; hence the pH has to be kept alkaline during impregnation. Otherwise, poly-addition starts, the resin is no longer water soluble, and the treatment solution is spoilt.

After 9 and 10 months, the segments of ship 2 were lifted from the tanks, once the pH had dropped to 7.5 – 7.0, and the 'cloud test' was positive. In this state, resin residues can still be easily washed from the wood surface. If the right point is missed, a sticky resin layer may form, which can only be removed with great effort.

A heat treatment followed the impregnation to cross-link the resin in the cell walls.

1 BASF Ludwigshafen, marka adı Kauramin 5549, suda çözünebilen melamin formaldehid reçinesi; 2004'den beri: Kauramin 800 olarak üretilmektedir.

2 Çözelti içine bir damla su damlatılarak beyazlaşma kontrolü yapılır. Su damlası beyazlaşıyorsa kürleşmenin başladığı anlaşılır (Editörün notu).

1 BASF Ludwigshafen, brand name Kauramin 5549, a water-dilutable melamine resin, since 2004: Kauramin 800





Fig. 4: Gemi 2'nin 1. kısmı. Kurtarma
konstrüksiyonunun yapımı. (Foto: A.
Mittermüller LFD Ingolstadt)

Fig. 4: Ship 2 segment 1, building
the salvage construction. (Photo: A.
Mittermüller LFD Ingolstadt)



Fig. 5: Gemi 1'in 1. kısmının taşıma hazırlığı. (Foto: RGZM)

Fig. 5: Ship 1 segment1 transport preparings. (Photo: RGZM)

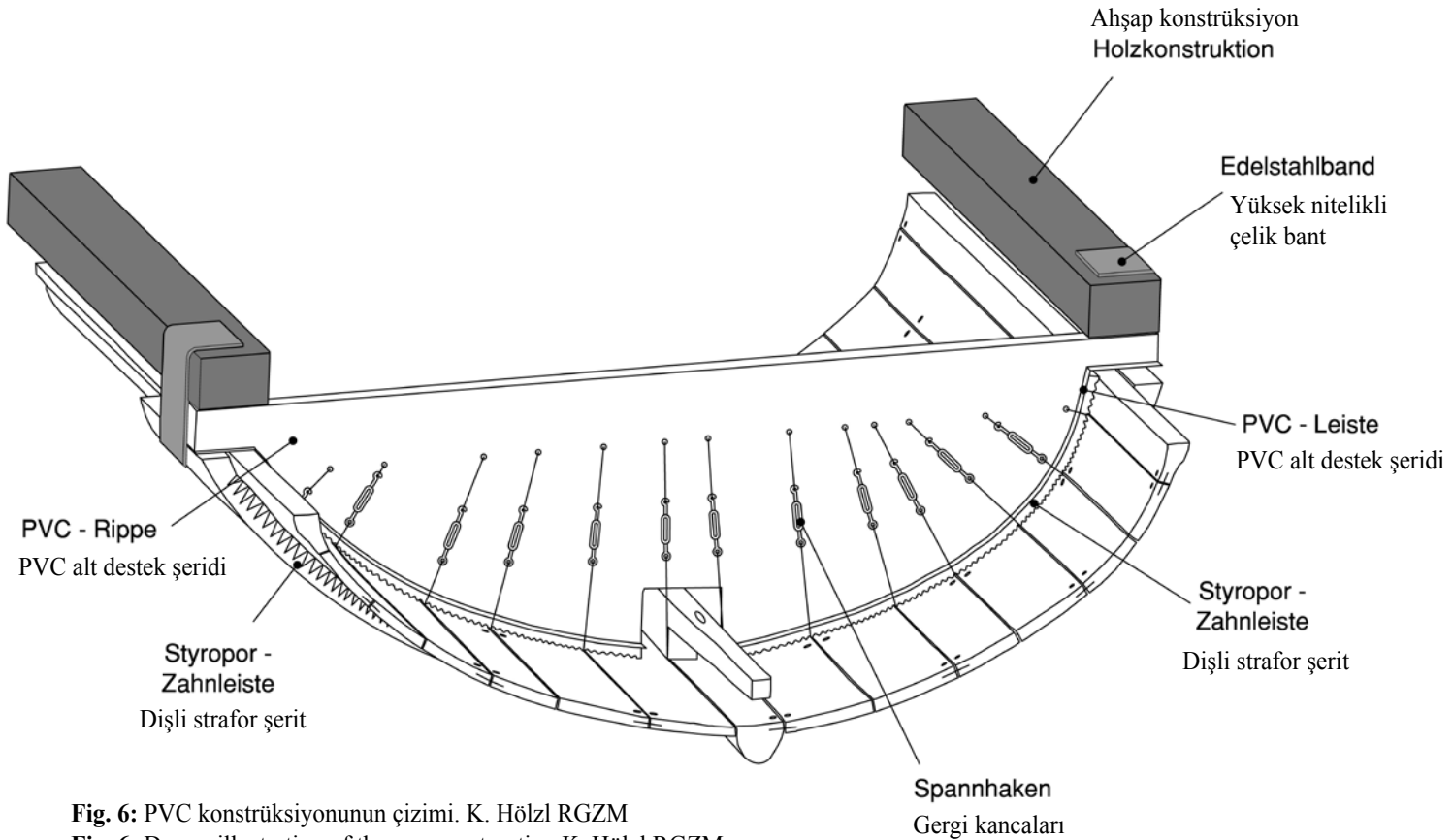


Fig. 6: PVC konstrüksiyonunun çizimi. K. Hölzl RGZM

Fig. 6: Drawn illustration of the pvc construction K. Hölzl RGZM



Fig. 7: Gemi 1'in 1. kısmı, PVC kaburgalar. (Foto: RGZM)

Fig. 7: Ship1 segment 1, pvc-ribs. (Photo: RGZM)



Fig. 8: Konservasyon için çözeltinin hazırlanması. (Foto: RGZM)

Fig. 8: Mixing the treatment solution. (Photo: RGZM)

Kauramin ile emprenye edilmiş ve iyileştirilmiş gemi buluntularına stresi azaltılmış kurutma işlemi uygulamak için konteynır büyüklüğünde (6,8 m x 3,3 m x 2,3 m) mikrodalga fırın ve ısıtma haznesinden³ oluşan kombine bir cihaz inşa edilmiştir. Cihaz, iki ısıtma ünitesi tarafından 50°C'ye ısıtılabilir ve tavanın altına eşit olarak yerleştirilmiş her biri 1000 Watt'lık 6 mikrodalga jeneratörü ile donatılmıştır. Ahşap yüzeyler, ahşaptan akabilecek reçinenin üzerlerine yapışmasını önlemek için nemli yumuşak kâğıt havlu ile kaplanır. Daha sonra gemi parçaları, ısıyla kürleştirme sırasında ahşabın kurumasını önlemek için polietilen folyo içine paketlenir (Fig. 9).

Gemi 2'nin parçaları da tek tek 50° C'de işlem görmüştür. Reçine bir hafta içinde tamamen kürlenmiştir. Emprenye çözeltisinden alınan bir örnek gösterge olarak kullanılmıştır. Örnek katılaşığında, kürleşme tamamlanmış demektir. Tamamen soğutulduktan sonra folyo ve kâğıt sargı çıkarılmıştır. Kauramin yaklaşık % 0.1 formaldehit içerir; eğer ahşap sıcakken üzerindeki folyo ve kâğıt çıkarılırsa, gözleri ve burnu tahriş eder.

İyileştirmenin sonunda, ahşap hala suya doygundur. Hızlı ve kontrolsüz bir kurutma, bu durumda bile, çekmeye, çarpılmaya ve çatlak oluşumuna neden olabilir. Kontrollü kurutma için, gemi parçalarını tekrar folyo ile paketlenmiştir. Gemi 2'nin dört parçasının kuruma süresini azaltmak ve yine de iyi bir stabilizasyon elde etmek için folyalanmış ahşaplar mikrodalga enerjisiyle kurutulmuştur. Bu enerji kuru oduna çok fazla ısıtmadan nüfuz eder, buna karşın odundaki suyu ısıtarak buharlaşmasını sağlar. Buharlaşma enerjisinin, ahşapların zaten kuru olan dışından su dolu iç kısmına taşınması gerekmez. Kuru odun aşırı ısınmaz ve tehlikeli bir nem gradyanı oluşmaz.

A combined device, microwave oven and heating chamber², the size of a garage (6.8 m x 3.3 m x 2.3 m), has been constructed for the stress-reduced drying of Kauramin-impregnated and cured ship finds. It could be heated to 50 °C by two heating units, and 6 microwave transmitters of 1000 Watt each, placed evenly under the ceiling, provided microwave energy. The wood surfaces were covered with moist tissue paper to prevent resin from the wood coating them. The ship segments were then packed in PE foil to prevent the wood from drying during the heat curing. (Fig.9)

The segments of ship 2 were treated, one by one, at 50° C. Within a week, the resin was totally cured. A sample of the impregnation solution served as an indicator. When this had solidified, the curing was finished. After complete cooling, foil and

tissue were removed.

Pure Kauramin contains about 0.1 % formaldehyde; if the wood is unpacked while still hot, this will irritate eyes and nose.

At the end of the curing, the wood is still waterlogged. Rapid and uncontrolled drying can, even in this state, result in shrinkage, warping, and crack formation. For a controlled drying, we packed the ship segments in foil again. To reduce the drying time for the four parts of ship 2, while still obtaining a good stabilisation, we dried

the foil-packed wood with microwave energy. This energy penetrates the dry wood substance without warming it too much, while heating up any water in the wood and causing it to evaporate. The evaporation energy does not have to be transported by the wood substance from the outer, already dry portions of the timbers to the still water filled interior. The dry wood is not overheated, and no dangerous moisture gradient builds up.



Fig. 9: Gemi 1'in 2. kısmına emdirilen melamin reçinesinin mikrodalga fırın içinde kürleşmesi. (Foto: RGZM)

Fig. 9: Ship1 segment 2 curing the melamine resin in a microwave chamber. (Photo: RGZM)

3 Mipro, CH-Oberbüren, 2002'den beri kapalıdır. 1996: 100 000-DM

2 Mipro, CH-Oberbüren, closed since 2002. 1996: 100 000.-DM

Mikroalgalar ahşaplara bağlanan sensörler aracılığıyla 35° C'ye ayarlanmış ve aralıklı olarak çalıştırılmıştır. 3-4 saat çalışıldıktan sonra, ahşabın üzerindeki folyolar çıkarılarak, naylon ve ahşap üzerindeki yoğunlaşmış su bir-iki saat kurumaya bırakılmıştır. Ahşabın nem içeriği, bozunmuş ahşabın Lif Doygunluk Noktası (LDN) civarında yaklaşık % 40'a düşene kadar mikrodalgayla kurutma uygulanmıştır. Bu prosedür, gemi 2'nin parçaları için 9 ay sürmüştür. Parçalar daha sonra folyo ile kaplanarak ortam koşullarında yavaş yavaş % 12 - 15 nem içeriğine kadar kuruması sağlanmıştır. Gemi 1'in melamin emdirmesi için yaklaşık 5.000 litre reçine çözeltisi kullanılmıştır. Ahşapları gemi 2'ninkinden daha inceydi ve dört parçanın her biri için emdirmesi sadece 6 ay olarak planlanmıştır. Sadece % 0.5 trietanol amin taponu ilave edilmiştir. Son parçanın mikrodalgada kurutulması 2001 başlarında tamamlanmış; iki geminin stabilizasyonu dört yıl üç ay sürmüştür.

Tüm ahşap yüzeyler iki kez doğal ahşap yağı ile fırçalanmıştır.⁴ Melamin reçinesi ile stabilizasyon ahşap yapıya sadece az miktarda reçine ekler. Konservasyonu gerçekleştirilen ahşapların ağırlıkları hafif ve renkleri nispeten açık olarak kalır. Solvent bazlı doğal veya sentetik reçineler, yağlar veya balmumları ile yüzey işlemi, rengi ahşabın son zamanlardaki rengine göre ayarlayabilir. Aynı zamanda, yüzey güçlendirilmiş olur ve ahşap bağıl nem dalgalanmalarına karşı bir miktar korunmuştur. Ölçümlere göre çekme lif yönünde % 0.5, ağaç halkası boyunca % 1'den daha az olmuştur. Gövde ahşapları arasındaki armuz araları sadece birkaç milimetre açılmıştır (Fig. 10).

Gemiler, bulundukları yerin yakınında yeni bir müze kuruluncaya kadar RGZM'de sergilenmiştir. Gemi parçaları, daha sonra taşıma kızakları olarak kullanılacak ayrı ayrı tabanlara monte edilmiştir. Ancak Manching Kelten ve Römer Müzesi, gemileri estetik açıdan hoş, mütevazı çelik desteklerle sunmak istiyordu. Bu, geçici taşıyıcılara ek olarak, gemi parçalarını beşiklerden nihai taşıyıcı konstrüksiyona aktaracak bir kaldırma sisteminin gerekli olduğu anlamına geliyordu. Bunun için gemilerin kazı alanından kaldırılması için geliştirilen strafor kaburgalar, geçici şablonlar ve sıkma kayışları ile aynı teknik kullanılmıştır. (Fig. 11)

The microwave set-up was regulated to 35° C via sensors in the wood and employed using time intervals. After 3 – 4 hours, it was turned off, the wood unpacked, the condensed water on the foil and on the wood left to dry for one to two hours. This microwave drying was performed until the moisture content of the wood had come down to about 40 %, about the fibre saturation point (FSP) of degraded wood. This procedure took 9 months for the segments of ship 2, which were then covered with foil and slowly dried in ambient conditions to 12 – 15 % moisture content. The melamine impregnation of ship 1 required about 5000 litres of resin solution. The timbers were thinner than in ship 2, so that the impregnation time of the four segments could be planned for only 6 month each. Only 0.5 % triethanol amine buffer was added. The microwave drying of the last segment was finished in early 2001, the stabilisation of the two ships had taken four years and three months.

All wood surfaces were brushed two times with a natural wood oil.³ The stabilisation with melamine resin adds only small amounts of resin to the wood structure. The objects remain relatively light, in weight and in colour. A surface treatment with solvent-based natural or synthetic resins, oils, or waxes can adjust the colour to that of recent wood. At the same time, the surface is strengthened, and the wood is protected a little against fluctuations of the relative humidity. Shrinkages of up to 0.5 % were measured in the fibre direction, and less than 1 % across the grain. The seams between hull planks only opened a few millimetres. (Fig.10)

The ships were put on exhibition in the RGZM, until a new museum could be erected near the place where they were found. The segments were mounted on individual bases, which could later serve as transport cradles. However, the new Kelten und Römer Museum Manching wanted to present the ships in aesthetically pleasant, unobtrusive steel supports. This meant that in addition to the temporary transport cradles a lifting system was necessary, which could raise the ship segments from the cradles into their final support structure. We used the same technique of wooden frames, styrofoam ribs, temporary templates and tightening belts developed for the lifting of the ships from the excavation. (Fig. 11)

4 Auro, natural oil Nr. 121

3 Auro, natural oil Nr. 121



Fig. 10: Sertleştirme ve kurutmadan sonra gemi 2'nin 1.ve 2. kısımları. (Foto: RGZM)

Fig. 10: Ship2 segment 1 and 2 after consolidation and drying. (Photo: RGZM)



Fig. 11: Gemi 1 ve Gemi 2 Manching/Bavaria'da çelik taşıyıcıların üzerinde. (Foto: W. David, Kelten ve Römer Museum, Manching)
Fig. 11: Ship1 and 2 on steel support in Manching/Bavaria. (Photo: W. David, Kelten und Römer Museum, Manching)

Melamin reçinesini çapraz bağlamak için bir ısı haznesi gereklidir. Fırının boyutu, maksimum nesne boyutu sınırlandırıcıdır. RGZM laboratuvarlarında kombinasyon cihazı (ısı ve mikrodalga) kullanılmaktadır. Bu, reçine sertleştikten sonra mikrodalga işlevine geçebileceğimiz ve kurutma işlemini hızlandırabileceğimiz anlamına gelir.

Oberstimm'den Kauramin 800 ile gemilerin korunmasının olumlu yönleri birinci sınıf stabilizasyon ve görsel görünümdür. Stabilize ahşapların hafifliği, gemilerin yeniden montajı ve sunumu ile çalışmayı kolaylaştırmıştır. Ahşap hala gözeneklidir; çünkü sadece az miktarda reçine kullanılmıştır. Bir gün ahşapların güçlendirilmesi veya yeniden stabilizasyonu arzu edilirse, melamin reçinesi tekrar çıkarılamasa dahi böyle bir iyileştirme mümkün olacaktır.

A heat chamber is required to crosslink the melamine resin. The size of the chamber defines the limit for the maximum object size. We are using combined device (heat and microwave). This means that once the resin has hardened, we can switch to microwave function and accelerate the drying process.

Positive aspects of the conservation of the Ships from Oberstimm with Kauramin 800 are the first-class stabilisation and the visual appearance. The light weight of the stabilised timbers made working with the reassembly and presentation of the ships straightforward. The wood is still porous, as only small amounts of resin have been introduced. Should one day a strengthening or re-stabilisation of the timbers become desirable, then such a treatment will be possible, even if the melamine resin cannot be extracted again.

KAYNAKÇA-BIBLIOGRAPHY

- KREMER 1997 Kremer A., “Die Bergung der Römerschiffe von Oberstimm” ADR Blätter 2, 1997, 325-328.
- BOCKIUS 2002 Bockius R., “Die r merzeitlichen Schiffsfunde von Oberstimm in Bayern” Mainz, 2002.
- WITTK PPER 2008 M. Wittk pper M., Current developments in the preservation of archaeological wet wood with melamine/amino resins at the Roemisch-Germanisches Zentralmuseum, 2008.
- WITTK PPER 2020 WEB:https://www.rgzm.de/kur/index.cfm?Layout=holz&Content=kauramin_EN

SUYA DOYMUŞ AHŞAP KONSERVASYONUNDA SÜLFÜR SORUNU

SULFUR PROBLEM IN THE CONSERVATION OF WATERLOGGED WOOD



* A. Gökçe Kılıç

Anahtar kelimeler: Konservasyon, pH, pirit, suya doymuş ahşap, sülfür.

Keywords: Conservation, pH, pyrite, waterlogged wood, sulfur.

ÖZET

2000 yılında Vasa Batığı'nda başlatılan projeler ile suya doymuş ahşap konservasyonunda sülfür kaynaklı problemler ve ahşaplardan uzaklaştırılması üzerinde yürütülen çalışmalar hız kazanmıştır. Konservasyon çalışmaları tamamlandıktan sonra sülfür kaynaklı asidite problemi yaşayan Vasa, Mary Rose, Batavia ve Shinan batıklarından elde edilen veriler ile Lyon Saint-Georges 4 ve Yenikapı batıklarında PEG emdirmesi öncesinde demir korozyonlu alanlar ahşaplardan uzaklaştırılmıştır. Bu çalışma kapsamında da batık ahşapları üzerinde tespiti gerçekleştirilen sülfür problemleri ve çözüm yolları değerlendirilmiştir. Gerçekleştirilen mekanik ve kimyasal temizlik çalışmalarına rağmen ahşaplarda pirit varlığı mevcut ise günümüzde bilinen ve uygulanan yöntemler ile piriti tamamen ahşaplardan uzaklaştırmak mümkün değildir. Bu nedenle özellikle yapısında pirit olan ahşapların, uygun bağıl nem değerine sahip ortamlarda depolanması ve sergilenmesi büyük önem kazanmaktadır. Aksi halde ahşaplarda meydana gelebilecek sülfürik asit oluşumu nedeniyle geri dönüşü mümkün olmayan bozulmalar yaşanabilmektedir.

ABSTRACT

With the projects launched in Vasa Shipwreck in 2000, the studies on the sulfur-related problems in waterlogged wood conservation and their removal from the wood have accelerated. Iron corroded areas were removed from the wood before PEG impregnation of Lyon Saint-Georges 4 and Yenikapı shipwrecks with the data obtained from Vasa, Mary Rose, Batavia and Shinan shipwrecks which had sulfur-related acidity problem after the active conservation works of these shipwrecks were completed. Within the scope of this study, the sulfur problems detected on the wooden parts of the shipwrecks and its potential remedies were discussed. If there is pyrite in the wood despite the mechanical and chemical cleaning, it is not possible to remove it from the wood completely with the methods known and applied today. Therefore, it is especially important to store and display wood that contains pyrite in suitable relative humidity. Otherwise, irreversible degradation may occur due to sulfuric acid in wood.

*Dr. Öğr. Üyesi A. Gökçe Kılıç, Orcid ID: 0000-0003-0042-6979. İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi, Müzecilik Bölümü, gokcegokcay@istanbul.edu.tr

*Asst. Prof. A. Gökçe Kılıç, Orcid ID: 0000-0003-0042-6979. Museology Department, Faculty of Letters, İstanbul University.

GİRİŞ

1860'lı yıllardan itibaren bilimsel bir çalışma alanı olarak kabul gören suya doymuş ahşap konservasyonunda konservatörler, ahşap uzmanları, kimyagerler, fizikçiler, arkeologlar ve mühendisler interdisipliner çalışmalar yürütmektedir. İleri aletli analiz teknikleri kullanılarak gerçekleştirilen çalışmalar ile suya doymuş ahşapta meydana gelen kimyasal ve fiziksel değişimler ortaya konmakta ve elde edilen veriler ile suya doymuş ahşabın konservasyonu uygun yöntemlerle gerçekleştirilebilmektedir.¹ Büyük boyutlu suya doymuş arkeolojik eserlerin korunmasında en çok kullanılan yöntemlerin başında PEG (polietilen glikol) ile yapılan uygulamalar gelmektedir.² Bu çalışma kapsamında da değerlendirildiği gibi PEG kimi noktalarda problemleri bulunmasına rağmen günümüzde halen suya doymuş ahşap konservasyonunda kullanılan en yaygın uygulamadır. PEG ile karşılaşılan problemlerin başında; özellikle gemi elemanlarının birleştirilmesinde kullanılan metal çiviler nedeniyle PEG'in oksidasyona uğraması gelmektedir. Ayrıca PEG'in bozulması sonucunda meydana gelen formik asit oluşumu ise yöntemin bir diğer önemli problemidir.³ Konservasyonu PEG ile gerçekleştirilen ahşaplarda meydana gelen asidite sorunu 1970'li yıllarda Skuldelev batıklarında meydana gelen beyaz toz halinde birikintiler ile tespit edilmiştir. Bu durum ilk başta görsel bir problem olarak düşünülmüş; yüzeydeki tozlanmalar fırça ile temizlenerek, beyazlaşan kısımlar boyanmıştır. Ancak yaşanan problemin artarak devam etmesi sonucunda yapılan analizler ile bu tozların çözünmeyen demir sülfürlerin oksidasyonu sonucunda oluşan hidratlı demir sülfat olduğu tespit edilmiştir.⁴ Bu öncü çalışma ile beraber özellikle Vasa Batığı ahşaplarında biriken yüksek miktardaki sülfürün keşfi; kimyacılar ve konservatörler arasında işbirliği yapmanın gerekliliğini bir kez daha ortaya koymuştur. Vasa Batığı'nda 2000-2003 yıllarında gerçekleştirilen "*Preserve the Vasa*", 2008-2011 yıllarında gerçekleştirilen "*A Future for Vasa*" projeleri ve batık ahşaplarında yürütülen kimyasal analiz çalışmaları sonucunda, batıklarda meydana gelen sülfür varlığı araştırılmış ve suya doymuş ahşap konservasyonunda "sülfür" problemi tanımlanmıştır.⁵ Özellikle konservasyonu tamamlanmış sergilenen batıklarda yaşanan problemler, konservasyon çalışmaları devam eden batıklar için de referans olarak kullanılabilir. Batık ahşaplarında gerçekleştirilen sülfür ve demir bileşiklerinin analizleri ile suya doymuş ahşap konservasyonunda bu bileşikler ile bağlantılı sorunların anlaşılabilir çözümü yöntemleri araştırılmaktadır.⁶ Bu nedenle öncelikle suya doymuş ahşapta sülfür-demir bileşiklerinin hangi reaksiyonlar sonucunda meydana geldiği üzerine araştırmalar gerçekleştirilmiştir.

1 FIX 2015

2 KILIÇ 2013

3 KILIÇ 2017a

4 GODFREY vd. 2011

5 ELDING 2011; SCHOFIELD – CHADWICK 2011

6 FORS 2008; HÅFORS, 2010

INTRODUCTION

Conservators, wood specialists, chemists, physicists, archaeologists and engineers conduct interdisciplinary studies on the conservation of waterlogged wood, which was recognized a scientific field since 1860's. Chemical and physical changes occurring in waterlogged wood are revealed by the studies carried out using instrumental analysis techniques and the conservation of waterlogged wood with the obtained data can be carried out with suitable methods.¹ PEG (polyethylene glycol) is one of the most used methods for the conservation of large waterlogged archaeological finds.² As evaluated within the scope of this study, although PEG has problems at some points, it is still the most common application used in waterlogged wood conservation today. PEG oxidation due to metal nails used for joining ship elements is the most common problem encountered with PEG. In addition, formic acid formation that occurs as a result of PEG degradation is another important problem of the method.³ The acidity problem occurring in wood, preserved by PEG, was detected by white powder deposits in Skuldelev shipwrecks in the 1970s. At first this issue was considered as an unpleasant appearance, so, the dust on the surface was removed with a brush and the parts that had become whitish were painted over. However, as a result of the continuing problem, several analyses were performed and it was found that the powders were in fact hydrated iron sulfate particles deriving from the oxidation of insoluble iron sulfides.⁴ With this pioneering work, the discovery of the high amount of sulfur deposited in the wood of Vasa Shipwreck once again demonstrated the necessity to cooperate between chemists and conservators. As a result the "Preserve Vasa" project in 2000-2003, and "A Future for Vasa" project in 2008-2011 were carried out and chemical analyses were performed on the shipwreck, the presence of sulfur in the wooden parts of the shipwreck was investigated and the problem was defined as presence of "sulfur" in the conservation of waterlogged wood.⁵ Especially the problems observed on exhibited shipwrecks that had already gone through the conservation process, are a reference for shipwrecks with ongoing conservation studies. Analyses of the sulfur and iron compounds found in wooden parts of shipwrecks, yield issues related to the compounds in waterlogged wood conservation, as well as providing clues for investigating its solutions.⁶ Therefore, initially, researches have been conducted to find out which reactions created the sulfur-iron compounds in waterlogged wood.

1 FIX 2015

2 KILIÇ 2013

3 KILIÇ 2017a

4 GODFREY *et al.* 2011

5 ELDING 2011; SCHOFIELD – CHADWICK 2011

6 FORS 2008; HÅFORS, 2010

BATIK AHŞAPLARINDA SÜLFÜR- DEMİR BİLEŞİKLERİNİN OLUŞUMU

Batık ahşaplarında, kullanılan demir bağlantı elemanları ya da batığın kargosunda bulunan demir malzemeler nedeniyle çoğu zaman batık gemilerde demir varlığına rastlanmaktadır. Demir malzemenin gömülü kaldığı alanda su bulunduğunda, demir elektrokimyasal reaksiyon sonucunda korozyona uğrar ve ortamdaki oksijen ile demir oksit ve demir hidroksit meydana gelir. Ancak batık anaerobik ortamda bulunuyor ise en sık ortaya çıkan korozyon ürünü demir sülfürlerdir. Özellikle monosülfür ve pirit gibi demir sülfürler, deniz tabanındaki indirgeyici koşullar ile oluşmaktadır. Oksijen ve yüksek bağıl nem varlığında, demir sülfürler, sülfürik asit oluşmasına neden olmaktadır. Batık ahşaplarında demir iyonlarının varlığı, ahşaplarda asidite problemine neden olmakla beraber ayrıca organik molekülleri etkileyen hidroksil radikallerinin oluşumuna da neden olmaktadır.⁷

Batık ahşapları, deniz tabanındaki çökellerde gömülü olduğu sürece, birçok yönden mekanik ve biyolojik erozyondan korunmuş olur. Bu duruma Mary Rose Batığı'nın korunmuş gövdesinin şekli iyi bir örnektir (Fig. 1). Ancak, ahşabı koruduğu düşünülen bu anaerobik ortamda özellikle sülfat indirgeyici bakteriler, hidrojen sülfür oluşumuna, hidrojen sülfür de demir iyonlarının olmadığı durumlarda ahşabın lignin bakımından zengin alanlarında tiyoller gibi organik sülfür bileşiklerinin veya ortamda demir varsa demir sülfür oluşumuna neden olmaktadır.⁸

Kazı sonrasında ortaya çıkarılan suya doymuş ahşabın yapısında bulunan demir sülfürler, havadaki oksijenle temas ettiğinde ahşabı oksitlemeye ve asiditesini yükseltmeye başlamaktadır. Bu reaksiyonların sonucunda batık ahşaplarının yüzeylerinde sıklıkla demir (II) ve demir (III) sülfatların asidik çökeltileri (melanterit ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), rozenit ($\text{FeSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), jarosit [$\text{KFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$]) bulunmaktadır. Vasa, Mary Rose ve Batavia batıklarında olduğu gibi, özellikle demir tarafından katalizlenen yükseltgenme süreçleri ahşaplarda yüksek düzeyde asitliğe neden olmaktadır. İndirgenmiş sülfür bileşikleri, özellikle de kararsız demir sülfürler, sergileme veya depolama alanında yüksek bağıl nem bulunması durumunda sülfürik aside dönüşerek batık ahşaplarında problemlere yol açmaktadır.⁹

FORMATION OF SULFUR-IRON COMPOUNDS IN SHIPWRECK WOOD

Due to the iron fasteners used in wood or iron materials found in the cargo of the ship, iron is often encountered in shipwrecks. In the area where the iron material is submerged, the iron is corroded as a result of electrochemical reaction and iron oxide and iron hydroxide are released due to the oxygen in the environment. However, if the shipwreck is located in an anaerobic environment, the most frequently released product due to corrosion is iron sulfides. In particular, iron sulfides such as monosulfide and pyrite are formed by reducing conditions on the seabed. In the presence of oxygen and high relative humidity, iron sulfides cause sulfuric acid to form. The presence of iron ions in the wood of shipwrecks causes acidity problem in wood, but also causes the formation of hydroxyl radicals that affect organic molecules.⁷

Shipwreck wood is protected from mechanical and biological erosion in many ways, as long as it is submerged under the seabed sediments. The Figure depicting the preserved body of the Mary Rose shipwreck is a good example (Fig. 1). However, in this anaerobic environment, which is thought to protect wood, especially sulfate-reducing bacteria causes hydrogen sulfide formation, and in the absence of iron ions, hydrogen sulfide causes organic sulfur compounds such as thiols in lignin-rich areas of wood or iron sulfide if iron is present in the environment.⁸

Iron sulfides in waterlogged wood removed during excavation begin to oxidize wood and increase its acidity when it comes into contact with oxygen in the air. As a result of these reactions, acidic precipitates of iron (II) and iron (III) sulfates (melanterite ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), rozenite ($\text{FeSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), jarosite [$\text{KFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$]) are frequently found on the wood of shipwrecks. As with Vasa, Mary Rose and Batavia shipwrecks, oxidation processes catalyzed by iron cause high acidity in wood. Reduced sulfur compounds, especially unstable iron sulfides, transform into sulfuric acid when the relative humidity in the display or storage area is high, causing problems in wooden artifacts.⁹

7 ALKMIST vd. 2013; ALKMIST 2008

8 FORS vd. 2015; FORS 2009a

9 FORS 2009a; FORS vd. 2012; FORS vd. 2014; FORS, 2009b

7 ALKMIST *et al.* 2013; ALKMIST 2008

8 FORS *et al.* 2015; FORS 2009a

9 FORS 2009a; FORS *et al.* 2012; FORS *et al.* 2014; FORS, 2009b

SÜLFÜR PROBLEMİNİN ÖRNEK BATIKLAR ÜZERİNDEN İNCELENMESİ

Bu çalışma kapsamında yurtdışından Vasa, Mary Rose, Batavia, Skuldelev, Shinan, Lyon Saint-Georges 4, BZN (Burgzand) 3 ve BZN 15 batıkları ile Türkiye’den Yenikapı batıklarında gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda elde edilen veriler değerlendirilmiştir. Batık ahşaplarında sülfür-demir bileşiklerinin tespitinde pek çok farklı aletli analiz kullanılmaktadır. Bunların başında özellikle ahşap yüzeylerinde tuz çökeltileri oluştuğunda; bu çökeltilerin tanımlanmasında XRD (X ışınları difraksiyonu) cihazı kullanılmaktadır. Ahşabın yapısındaki demir ve sülfür elementlerinin tespitinde ise özellikle taşınabilir XRF (X Işını Floresans Spektroskopisi) cihazları kullanılmaktadır. SEM-EDX (Taramalı Elektron Mikroskopu- Enerji Dağılımlı X Işını Spektroskopisi) analizi, elementel analizin yanı sıra özellikle ahşap hücre duvarında 1 µm hassaslığa kadar sülfür ve demir dağılımını haritalamak için kullanılabilir. Raman spektroskopisi ile de ahşaplarda demir-sülfür bileşiklerinin varlığının tespiti yapılabilmektedir. XPS (X-Işını Fotoelektron Spektrometresi) analizi ise ahşaplardaki demir ve sülfür bileşiklerini tanımlamakta ve sülfürün değerlikleri tespit edilebilmektedir. Bu yöntemlerin yanı sıra XANES (X ışını absorpsiyon spektroskopisi) ile organik malzemelerin içindeki sülfür fonksiyonel gruplarının kimyasal hali ve bağları ile ilgili spesifik bilgiler ve SXM (Taramalı X Işını Spektro-Mikroskopu) ile ahşapta mikroskobik düzeydeki sülfür bileşiklerinin belirlenmesi mümkün olmaktadır.¹⁰ Bu yöntemlerin yanı sıra son yıllarda manyetik ölçüm yöntemleri kullanılarak suya doymuş ahşapta demir-sülfür bileşiklerinin analizi üzerine çalışmalar da gerçekleştirilmektedir¹¹.

INVESTIGATION OF THE SULFUR PROBLEM THROUGH SHIP-WRECK EXAMPLES

The data obtained as a result of the studies carried out in the shipwrecks of Vasa, Mary Rose, Batavia, Skuldelev, Shinan, Lyon Saint-Georges 4, BZN (Burgzand) 3 and BZN 15 from abroad, as well as Yenikapı shipwrecks from Turkey were evaluated within the scope of this study. Many different instrumental analyzes are used to detect sulfur-iron compounds in waterlogged woods. Among them, XRD (X-ray diffraction) device is used in the leading method, especially when salt deposits form on wooden surfaces. Portable XRF (X-Ray Fluorescence Spectroscopy) devices are used for the detection of iron and sulfur elements in wood. SEM-EDX (Scanning Electron Microscope- Energy-dispersive X-ray spectroscopy) analysis can be used to map the sulfur and iron distribution up to 1 µm sensitivity especially in the wood cell wall. With Raman spectroscopy, the presence of iron-sulfur compounds in wood can be detected. XPS (X-Ray Photoelectron Spectrometry) analysis, on the other hand, identifies iron and sulfur compounds in woods and the valences of sulfur can be analyzed. In addition to these methods, it is possible to determine the chemical form and bonds of functional sulfur groups in organic materials and XANES (X-ray Absorption Near Edge Spectroscopy) and to determine the microscopic sulfur compounds in wood with SXM (Scanning X-Ray Spectro-Microscopy).¹⁰ In addition to these methods, studies on the analysis of iron-sulfur compounds in waterlogged wood have been carried out using magnetic measurement methods in recent years¹¹.



Fig. 1: Mary Rose Müzesi’nde sergilenen Mary Rose Batığı.

Fig. 1: The Mary Rose Shipwreck displayed in the Mary Rose Museum.

10 FORS 2008; FORS vd. 2008; ALMKVIST 2008; RÉMAZEILLES vd. 2010; KILIÇ 2017a; KILIÇ 2017b; KILIÇ – KILIÇ 2018; MONACHON vd. 2020
11 RÉMAZEILLES vd. 2016; RÉMAZEILLES vd. 2019a

10 FORS 2008; FORS *et al.* 2008; ALMKVIST 2008; RÉMAZEILLES *et al.* 2010; KILIÇ 2017a; KILIÇ 2017b; KILIÇ – KILIÇ 2018; MONACHON vd. 2020
11 RÉMAZEILLES *et al.* 2016; RÉMAZEILLES *et al.* 2019a

VASA BATIĞI

Vasa Batığı'nda 2000 yılında % 65'in üzerinde seyreden bağıl nem sonrası, ahşaplarda beyaz- sarı renkte tuz çökeltilerinin tespit edilmesi ile suya doymuş ahşapta sülfür problemi üzerinde yürütülen çalışmalar hız kazanmıştır. Aslında PEG emdirme sonrasında ahşaplar kururken de üzerlerinde tuz birikintileri oluşmaya başlamış fakat bu birikintiler ahşaplardan sadece mekanik olarak uzaklaştırılmıştır. Yürütülen analiz çalışmaları ile ahşaplardaki asiditenin arttığı belirlenmiş, bunun temel nedeninin ise ahşap içerisindeki sülfürik asitin olduğu tespit edilmiştir. Bu aşamada ahşaplarda bozulma sürecini hızlandıran bir diğer faktörün ise konservasyon için kullanılan PEG ile Vasa Batığı'nın bağlantı elemanlarında kullanılan demirin tepkimeye girmesi olduğu anlaşılmıştır.¹² Vasa Batığı'nın ahşaplarında gerçekleştirilen pH ölçümleri neticesinde ahşapların pH değeri 2 olarak ölçülmüştür. Ayrıca gerçekleştirilen XRD analizleri ile batık yüzeyindeki tuzların bir dizi hidratlanmış demir sülfat, jips ve elementel sülfür olduğu tespit edilmiştir. Vasa ahşaplarında gerçekleştirilen XRF çizgi taraması sonucunda sülfürün neredeyse tamamının ahşabın dış yüzeyinde biriktiği belirlenmiş olup batık ahşapların bozulmuş kısımlarında kütlece % 10'u aşan miktarda demir ve sülfür bulunduğu tespit edilmiştir. SEM-EDX analizi ile sülfür ve demir elementlerinin hücre duvarındaki mikroskobik dağılımı belirlenmiştir. Ayrıca XANES, XPS ve SXM analizleri ile ahşaplarda okside olmuş, indirgenmiş ve elementel halde sülfür tespit edilmiştir. Sonuç olarak batığın, kendi kütlesinin ortalama % 1'ini oluşturan 2 ton sülfür içerdiği hesaplanmıştır.¹³

MARY ROSE BATIĞI

Vasa Batığı'nda olduğu gibi Mary Rose Batığı'nda da demir ve sülfür tuzlarından kaynaklanan sorunlar yaşanmıştır (Fig. 2). Mary Rose'un ahşaplarında sülfür dağılımının daha düzenli olduğu belirlenmiştir. Okside olmuş sülfürün, batığın ahşaplarında 12 mm derinliğe kadar nüfus ettiği tespit edilmiştir. Batıkta bulunan sülfür miktarı kütlece % 1 olarak hesaplanmıştır. Bu durum batıkta yaklaşık iki ton sülfür olduğunu ortaya koymuştur. Batık kütleleri çok farklı olmasına rağmen Vasa ve Mary Rose'un toplam sülfür miktarlarının birbirine çok yakın olduğu belirlenmiştir. Bununla beraber batık ahşaplarının yapısındaki demir dağılımı ise farklılık göstermektedir.

THE VASA SHIPWRECK

After the relative humidity of over 65% in the Vasa Shipwreck in 2000, the studies carried out on the sulfur problem in waterlogged wood have been accelerated by the detection of white-yellow salt sediments on the wood. In fact, salt deposits started to form on the wood after PEG impregnation, but these deposits were only mechanically removed. With the analysis conducted, it was determined that the acidity in the wood increased, the main reason for this was the sulfuric acid in the wood. At this stage, it was understood that another factor that accelerated the deterioration process in wood was the reaction of iron used in the fasteners of Vasa Shipwreck with the PEG used for conservation.¹² Based on analysis the pH value of the wood of Vasa shipwreck was 2. In addition, XRD analysis revealed that salts on the surface of the shipwreck were a series of hydrated iron sulfate, gypsum and elemental sulfur. As a result of XRF line scanning performed on the wood of Vasa, it was determined that almost all of the sulfur was accumulated on the surface of the wood, and there was an amount of iron and sulfur in the degraded parts of the waterlogged wood in excess of 10% by mass. The microscopic distribution of sulfur and iron elements in the cell wall was found through SEM-EDX analysis. In addition, in XANES, XPS and SXM analyzes, oxidized, reduced and elemental sulfur were detected. As a result, it is calculated that the shipwreck contains 2 tons of sulfur, which makes up an average of 1% of its mass.¹³

MARY ROSE SHIPWRECK

As in Vasa Shipwreck, Mary Rose Shipwreck also had problems arising from iron and sulfur salts (Fig. 2). It has been determined that the distribution of sulfur is more regular in the timbers of Mary Rose. It has been determined that oxidized sulfur penetrates the wood of the shipwreck to a depth of 12 mm. The amount of sulfur in the shipwreck was calculated as 1% by mass. This situation revealed that there were about two tons of sulfur in the shipwreck. Although the masses of the shipwrecks are very different, it is determined that the total sulfur amounts of Vasa and Mary Rose are very close to each other. However, the distribution of iron in the wood of shipwrecks varies. While the amount of iron is lower in light colored wood, this amount is higher in dark colored

12 ALKMVIST 2008; ELDING 2011; GIORGI vd. 2005

13 HOCKER 2006; HÅFORS 2010; GODFREY vd. 2011; HOCKER vd. 2012; FORS 2008; FORS – SANDSTRÖM 2006

12 ALKMVIST 2008; ELDING 2011; GIORGI *et al.* 2005

13 HOCKER 2006; HÅFORS 2010; GODFREY *et al.* 2011; HOCKER *et al.* 2012; FORS 2008; FORS - SANDSTRÖM 2006

Açık renkli ahşaplarda demir miktarı azalırken, koyu renkli bozulmuş ahşaplarda bu miktar artış göstermiştir. Batık ahşaplarının bozulmuş kısımlarında sülfür-demir bileşiklerinin yanı sıra çinkonun da bulunduğu tespit edilmiştir.^{14,15}

BATAVIA BATIĞI

Batavia Batığı ahşaplarındaki demir ve sülfür kalıntıları XRD, XPS ve XANES yöntemleri ile analiz edilmiştir. En yüksek sülfür ve demir miktarı çam örneklerinin yüzeyinde, sırasıyla % 6 ve % 25, meşe örneklerde ise % 4 ve % 7 olarak tespit edilmiştir. Batavia Batığı'nda yüksek oranda pirit bulunması batığın, demir sülfür nedeniyle büyük tehdit altında olduğunu ortaya koymuş ayrıca batıkta yüksek asiditeye sahip ahşaplar tespit edilmiştir. Batavia'da bu sorun özellikle iklimlendirme sistemi bozulduğu dönemlerde ortaya çıkmıştır.¹⁶

degraded wood. In addition to sulfur-iron compounds, zinc was found in the degraded parts of the wood from the shipwreck.^{14,15}

BATAVIA SHIPWRECK

Iron and sulfur residues in the wood from Batavia Shipwreck were analyzed by XRD, XPS and XANES methods. The highest amount of sulfur and iron was 6% and 25% on the surface of the pine samples, and 4% and 7% on oak samples, respectively. The presence of high pyrite in the Batavia Shipwreck revealed that the shipwreck was under great threat due to iron sulfide, and wood with high acidity were detected in the shipwreck. In Batavia, this problem occurred especially during the periods when the air conditioning system broke down.¹⁶



Fig. 2: Mary Rose Batığı üzerinde gerçekleştirilen XRF çalışmaları.

Fig. 2: XRF analyses performed on the Mary Rose Shipwreck.

14 WETHERALL vd. 2008; FORS 2008; SANDSTRÖM vd. 2005a; SANDSTRÖM vd. 2005b; ALURI vd. 2020
15 Mary Rose Batığında 2019 yılında Prof Eleanor Schofield danışmanlığında Dr. Öğr. Üyesi Namık Kılıç ile birlikte gerçekleştirilen post-doktora çalışmaları kapsamında batık ahşaplarında elementel analiz çalışmaları yapılmış olup çalışma sonuçları yayın hazırlık aşamasındadır.
16 FORS – SANDSTRÖM 2006; JALILEHVAND vd. 2001; GODFREY vd. 2011

14 WETHERALL *et al.* 2008; FORS 2008; SANDSTRÖM *et al.* 2005a; SANDSTRÖM *et al.* 2005b; ALURI *et al.* 2020
15 Elemental analysis studies have been done on the wood samples from the Mary Rose shipwreck in 2019 with the consultancy of Prof Eleanor Schofield together with Dr Namık Kılıç, within the scope of post-doctoral studies, and the study results are in the preparation stage of publication.
16 FORS – SANDSTRÖM 2006; JALILEHVAND *et al.* 2001; GODFREY *et al.* 2011

SKULDELEV BATIKLARI

1970'li yıllarda Skuldelev batıklarında ahşaplarda beyaz toz birikintilerinin meydana geldiği gözlemlenmiş ilk olarak çok önemsenmeyen bu sorun için sonrasında gerçekleştirilen analizler ile bu tozların hidratlı demir sülfat olduğu tespit edilmiştir. İklimlendirme sisteminin çalıştığı dönemlerde bu sorunun yaşanmadığı gözlemlenmiştir.¹⁷

SHINAN BATIĞI

Konservasyonu PEG ile gerçekleştirilen Shinan Batığı'nın yapımında demir birleştirme elemanları kullanılmıştır. Batık ahşaplarında asidite kaynaklı bozulmalar 2010 yılında tespit edilmiş olup bu sorun yüksek bağıl nem ve sıcaklığın olduğu yaz mevsiminde meydana gelmiştir. 2018 yılında başlatılan bir proje ile batık ahşaplarında daha detaylı analizler yürütülmüştür. Sarı kristal oluşumunun meydana geldiği ahşaplarda yapılan pH ölçümlerinde 2,5 ve altında değerler belirlenmiştir.¹⁸

LYON SAINT-GEORGES 4

Lyon Saint-Georges 4 Batığı'na ait ahşaplarda PEG ile konservasyon çalışmaları öncesinde demir-sülfür bileşiklerinin varlığı tespit edilmiş olup demir bağlantı elemanları ahşaplardan uzaklaştırılmıştır. Emdirme öncesi ve sonrasında ahşaplarda pH ölçümlerinin yanı sıra SEM-EDX, Raman spektroskopisi, XRD ve manyetik ölçüm yöntemleri ile analizler gerçekleştirilmiştir. Emdirme sonrası gerçekleştirilen pH ölçümlerinde batık ahşaplarının pH değeri 4,5-5,5 arasında ölçülmüştür. Fakat emdirmeye sonrasında ahşaplarda pirit varlığının yüksek oranda bulunmaya devam ettiği tespit edilmiştir.¹⁹

BZN 3 AND BZN 15 BATIKLARI

Wadden Denizi'nde *in situ* olarak korunmakta olan BZN 3 ve BZN 15 batıklarının olduğu alanlardan alınan ahşaplarda yüksek miktarda pirit olduğu belirlenmiştir. BZN 15 batık alanından alınan ahşaplarda % 1,1- 2,3 demir ve % 0,8- 2,4 kükürt bulunduğu tespit edilmiştir.²⁰

SKULDELEV SHIPWRECKS

In the 1970s, white dust deposits were observed in the wood of Skuldelev, and it was initially ignored, but the analyses revealed that the deposit belonged to hydrated iron sulfate. It was observed that this problem was not experienced during the periods when the air conditioning system was operating.¹⁷

SHINAN SHIPWRECK

The Shinan Shipwreck, conserved with PEG, contains iron joining elements. Acidity-related deterioration in the waterlogged woods was detected in 2010, and this problem occurred in the summer season when high relative humidity and temperature played an important role in its degradation. With a project launched in 2018, more detailed analyzes were conducted on the wood of shipwrecks. Measurements made in wood where yellow crystal formation occurred, yielded pH 2.5 and below.¹⁸

LYON SAINT-GEORGES 4

Presence of iron-sulfur compounds was determined and removed from the wood of Lyon Saint-Georges 4 Shipwreck before PEG impregnation. In addition to pH measurements, SEM-EDX, Raman spectroscopy, XRD and magnetic measurement methods and analyzes were performed in wood before and after impregnation. In measurements performed after impregnation, the pH value of the wood from the shipwreck was between 4.5-5.5. But after the impregnation, it was found that the presence of pyrite in the wood continued to be at a high rate.¹⁹

BZN 3 AND BZN 15 SHIPWRECKS

High amounts of pyrite was identified in the wood samples taken from the location where the BZN 3 and BZN 15 shipwrecks are preserved *in situ* in the Wadden Sea. Wood samples taken from BZN 15 shipwreck site contained between 1.1% to 2.3% iron and between 0.8% to 2.4% sulfur.²⁰

17 GODFREY vd. 2011; MORTENSEN vd. 2018

18 GODFREY vd. 2011; KIM – PARK 2020

19 RÉMAZEILLES vd. 2019b

20 MANDERS 2017

17 GODFREY *et al.* 2011; MORTENSEN *et al.* 2018

18 GODFREY *et al.* 2011; KIM – PARK 2020

19 RÉMAZEILLES *et al.* 2019b

20 MANDERS 2017

YENİKAPI BATIKLARI

Yenikapı Batıkları Projesi Başkanı Prof. Dr. Ufuk Kocabaş danışmanlığında tamamlanan doktora tezi kapsamında Yenikapı Batıklarından YK 8, YK 16, YK 18, YK 20, YK 21, YK 27 ve YK 31 batıklarına ait bazı ahşaplar üzerinde PEG ile emdirmeye çalışmalarına başlamadan önce XRF, SEM-EDX ve XPS yöntemleri ile analiz çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Ayrıca örneklerin pH değerleri ölçülmüştür (Fig. 3). Karşılaştırma ve değerlendirme yapılabilmesi için örneklerin korozyonlu kısımlar ile korozyon ürünlerine uzak kısımlardan alınmasına dikkat edilmiştir. Gerçekleştirilen XRF analizleri ile oranları değişmekle birlikte tüm örneklerde demir ve sülfür varlığı tespit edilmiştir. SEM-EDX haritalama analizi sonucunda da sülfürün ahşap yüzeylerinde genellikle homojen dağılım gösterdiği, demirin ise birikmeler yaptığı saptanmıştır. XPS analizi sonucunda ahşaplarda elementel sülfür ve okside olmuş sülfür ve demir sülfürlerin bulunduğu tespit edilmiştir. Batık ahşaplarında Raman analizi de gerçekleştirilmiş olup anlamlı bir sonuca varılamadığından sonraki dönemlerde yeni analizler ile denemeler yapılması planlanmıştır. Ayrıca YK 16 batığından alınan farklı örnekler ve YK 29 batığından alınan örnekler üzerinde lisansüstü öğrencileri tarafından XRF yöntemi ile demir ve sülfür analizleri sürdürülmektedir.

Batıklarda PEG emdirmesi öncesinde demir korozyonunun bulunduğu alanlarda mekanik ve kimyasal temizlik uygulamaları gerçekleştirilmektedir. Konservasyonu tamamlanan YK 1 ve YK 12 batıklarına ait ahşaplarda pH ölçümleri gerçekleştirilmekte olup ahşaplarda asidite sorununa rastlanmamıştır.²¹ Konservasyonu tamamlanan batıklar üzerinde XRD ile yapılan analiz çalışmaları devam etmektedir. Ayrıca konservasyonu tamamlanan batıklarda taşınabilir XRF cihazı ile yüzey taramaları ve ahşabın korundan alınacak örnekler ile derinlik-element analizlerinin yapılması planlanmaktadır.

Çalışma kapsamında ele alınan batıkların yanı sıra Bremen Teknesi ve Ma'agan Mikhael Batıklarında da uzmanlar tarafından gerçekleştirilen ileri aletli analiz sonuçları incelenmiş ve diğer batıklardan farklı olarak bu batıkların düşük oranda sülfür içerdiği tespit edilmiştir.²²

YENİKAPI SHIPWRECKS

Before starting the PEG impregnation studies on the wood samples from the YK 8, YK 16, YK 18, YK 20, YK 21, YK 27 and YK 31 shipwrecks, analyzes were carried out with XRF, SEM-EDX and XPS methods. The analyses were conducted within the scope of a doctoral thesis under the consultancy of Prof. Dr. Ufuk Kocabaş, Director of Yenikapı Shipwrecks Project. In addition, pH values of the samples were measured (Fig. 3). In order to make comparisons and evaluations, particular attention was paid to sampling from sections apart from the corroded parts and corrosion products. Presence of iron and sulfur was detected in all samples, although the XRF analyzes revealed varying rates. As a result of SEM-EDX mapping analysis, it was determined that the sulfur generally showed a homogeneous distribution on the wooden surfaces, whereas the iron showed spots of accumulation. As a result of XPS analysis, elemental sulfur and oxidized sulfur and iron sulfides were found in the wood. Raman analysis was also performed on the wood samples from shipwrecks, and since no significant conclusion could be reached, new analyzes and experiments were planned to be performed in the following periods. In addition, graduate students continue to analyze iron and sulfur by using XRF method on samples taken from YK 16 and YK 29 shipwrecks.

Before the PEG impregnation of wood, mechanical and chemical cleaning applications are carried out in the areas where the iron corrosion is present. PH measurements are performed on the wood samples of YK 1 and YK 12 shipwrecks following completion of conservation work, and no acidity problem was identified.²¹ XRD analyzes on samples from shipwrecks are ongoing following the completion of their conservation work. After the completion of conservation work, it is planned to carry out surface scans on shipwrecks with the portable XRF device, and depth-element analysis will be performed on samples to be taken from the core of the wood.

In addition to the shipwrecks discussed within the scope of the study, the results of instrumental analysis, which were performed by experts in Bremen Boat and Ma'agan Mikhael Shipwrecks, were examined, and found out that, unlike other shipwrecks, these contained lower levels of sulfur.²²

21 KILIÇ 2017a; KILIÇ 2019

22 SEGAL vd. 2009; SANDSTRÖM vd. 2005a

21 KILIÇ 2017a; KILIÇ 2019

22 SEGAL *et al.* 2009; SANDSTRÖM *et al.* 2005a

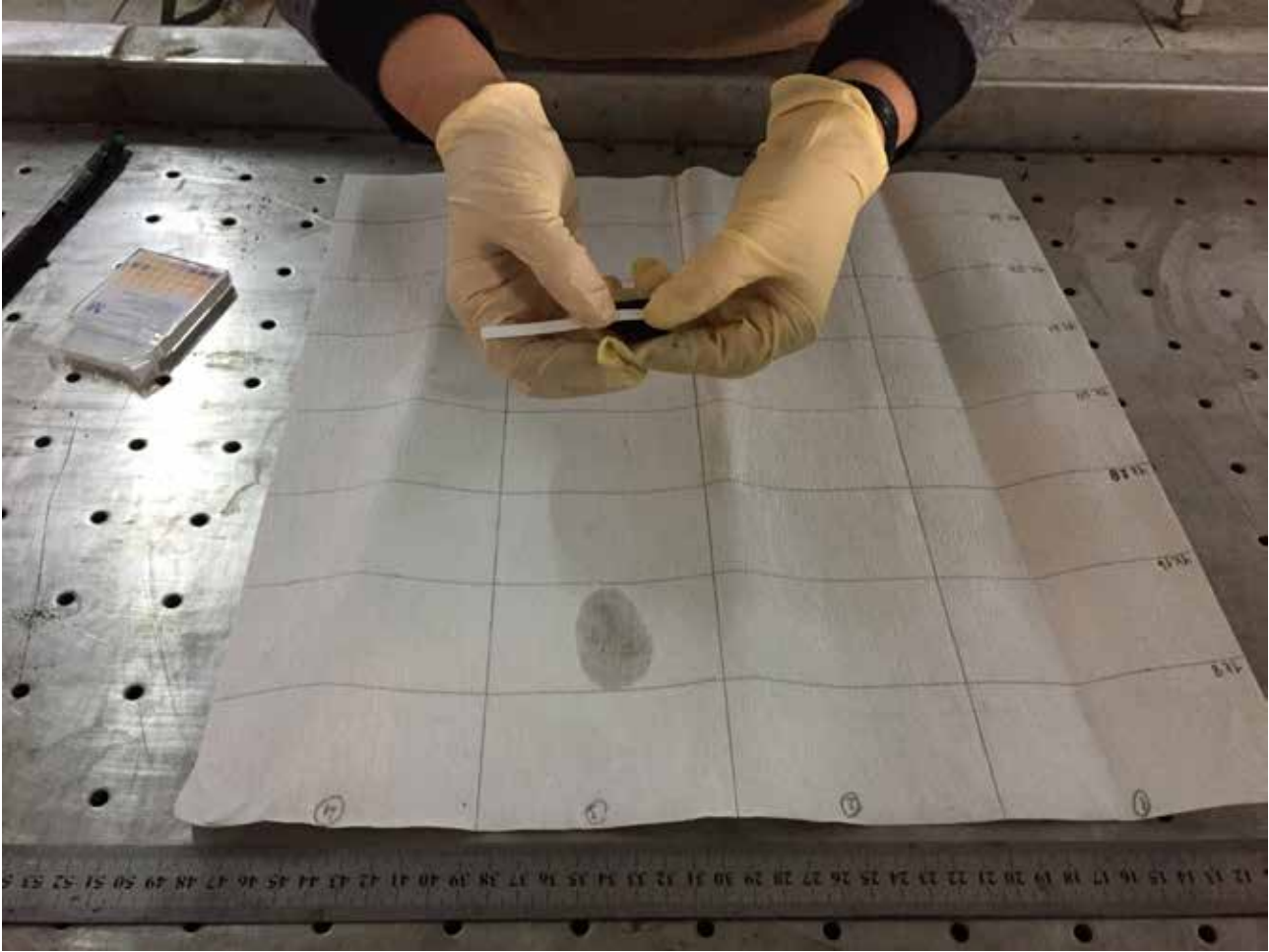


Fig. 3: Yenikapı Batıkları üzerinde gerçekleştirilen pH ölçümü.
Fig. 3: pH measurement performed on Yenikapı Shipwrecks.

SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Suya doymuş ahşapta meydana gelen sülfür kaynaklı problemler incelendiğinde sorunun çözümü için konservasyonun farklı basamaklarında çeşitli işlemlerin yapılmasının uygun olduğu görülmektedir. Öncelikle batık ahşaplarının konservasyon çalışmaları PEG yöntemi ile gerçekleştirilecekse ahşaplardaki korozyonlu bölgelerin mekanik ve kimyasal temizlik yöntemleri ile uzaklaştırılması gerekmektedir (Fig. 4). Kimyasal temizlikte 1970'li yıllarda hidroklorik asit kullanılarak başlanan demir ekstraksiyon çalışmaları, günümüzde güçlü demir şelatları olan EDTA (Etilendiamin tetraasetik asit), EDMA (Etilen dimetakrilat), DTPA (Dietilen triamin penta asetik asit) ve EDDMHA'nın (Etilendiamin-N,N'-di[(orto-hidroksimetilfenil) asetik asit]) kullanıldığı yöntemlerle devam etmektedir.²³ Ayrıca demir şelat çözeltileri ile az bir miktarda da olsa sülfürün ekstrakte

edildiği de bilinmektedir.²⁴ Bu uygulamaların yanı sıra PEG emdirme çözeltilisine *Hostacor IT*[®] katılması ya da tankta iyon tutucu reçineler kullanılması gibi yöntemlerle emdirme sürecinde meydana gelecek reaksiyonların önüne geçilebilmesi amaçlanmaktadır. Fakat tüm bu uygulamalara rağmen özellikle ahşapların yapısında bulunan elementel sülfür ve demir sülfürler okside olarak sülfirik asit oluşumuna neden olabilmektedir. Bu durumda ahşaplarda nötralizasyon uygulamaları yapılabilmektedir.²⁵ Fakat bu uygulamaların da beraberinde getirdiği problemler mevcuttur. Çalışma kapsamında incelenen örnek batıklarda ahşaplarda meydana gelen asitli alanlar ile ortamın bağıl nemi arasında çok yakın bir bağlantı olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle ahşaplarda asidite sorununun yaşanmaması için önleyici koruma çalışmalarının da koruma çalışmalarının önemli bir parçası olması gerektiği sonucu da ortaya çıkmaktadır.

²³ UNGER vd. 2001; ALMKVIST, vd. 2013

²⁴ ALMKVIST – PERSSON 2006

²⁵ KILIÇ 2017a



Fig. 4: Yenikapı Batıklarında kullanılmak üzere hazırlanan demir şelat çözeltileri.

Fig. 4: Iron chelate solutions prepared to be used on Yenikapı Shipwrecks.

CONCLUSION AND EVALUATION

The sulfur-related problems that occur in waterlogged wood suggest that various operations should be performed at different stages of conservation to solve these. First of all, if the conservation work on the wood from shipwreck will be carried out by PEG method, the corroded areas in the wood must be removed by mechanical and chemical cleaning methods (Fig. 4). Iron extraction work, which were part of the chemical cleaning, started using hydrochloric acid in the 1970s. Nowadays the methods involve the usage of strong iron chelates EDTA (Ethylenediamine tetraacetic acid), EDMA (Ethylene dimethacrylate), DTPA (Diethylene triamine penta acetic acid) and EDDMHA (Ethylenediamine-N, N '-di [(ortho-hydroxy methyl phenyl) acetic acid]).²³ It is also known that a small amount of sulfur is extracted with iron chelate

solutions.²⁴ In addition to these applications, it is aimed to prevent reactions that may occur during the impregnation process by adding Hostacor IT® to the PEG impregnation solution or using resins that contain ion-trapping agents in the tank. However, in spite of all these applications, elemental sulfur and iron sulfides in the wood can be oxidized causing formation of sulfuric acid. In this case, neutralization can be applied on the wood.²⁵ However, there are some problems brought about by these applications. It is determined that there is a very close connection between the acidic areas occurring in the wood sampled from shipwrecks examined within the scope of the study and the relative humidity of the environment. For this reason, it is also concluded that preventive conservation works should also be an important part of conservation studies in order to avoid acidity problems in woods.

²³ UNGER *et al.* 2001; ALMKVIST, *et al.* 2013

²⁴ ALMKVIST – PERSSON 2006

²⁵ KILIÇ 2017a

KAYNAKÇA-BIBLIOGRAPHY

- ALMKVIST 2013
Almkvist, G., The Chemistry of the Vasa- Iron, Acids and Degradation, İsveç Üniversitesi, Yayınlanmamış Doktora Tezi, 2013.
- ALKMIST *et al.*2013
Almkvist, G., Hocker, E., Sahlstedt, M., Museums, S. M., Iron removal from waterlogged timbers. İsveç Üniversitesi. SLU Repro, Uppsala. ALMKVIST – PERSSON 2006 Almkvist, G., Persson, I., 2006, “Extraction of Iron Compounds from Timbers from the Vasa”, *Holz-forschung*, 60(6), 2013, 678-684.
- ALURI *et al.*2020
Aluri, E. R., Reynaud, C., Bardas, H., Piva, E., Cibir, G., Mosselmans, Chadwick A. V., Schofield, E. J., “The Formation of Chemical Degradation during the Conservation of a Timbersen Tudor Shipwreck” *ChemPlusChem*, 85, 2020.
- ELDING 2011
Elding, L. I., “Ten years of Vasa research-review and Outlook”, *Chemistry and Preservation of Waterlogged Timbersen Shipwrecks, Shipwrecks 2011, Proceedings*. Stockholm: Royal Institute of Technology, 2011, 86-93.
- FIX 2015
Fix, P. D., *Archaeological Watercraft: A Review and Critical Analysis of the Practice*, TAMU, Yayınlanmamış Doktora Tezi, 2015.
- FORS-SANDSTRÖM 2006
Fors, Y., Sandström, M., Sulfur and iron in shipwrecks cause conservation concerns. *Chemical Society Reviews*, 35(5), 2006, 399-415.
- FORS 2008
Fors, Y., Sulfur-Related Conservation Concerns for Marine Archaeological Timbers: The Origin, Speciation and Distribution of Accumulated Sulfur with Some Remedies of the Vasa, Stockholm Üniversitesi, Yayınlanmamış Doktora Tezi, 2008.
- FORS 2009a
Fors, Y., “What Happens at the Wreck Site? Biological and Chemical Mechanisms and Degradation in Marine Archaeological Wood on the Seabed”, *Conserving wrecks for future generations, Antarctica Symposium and workshop*, Hasselt Üniversitesi, Belçika, 2009.
- FORS 2009a
Fors, Y., “What Happens in the Museum Environment? Post-Conservation Challenges in the Vasa and the Mary Rose”, *Conserving wrecks for future generations, Antarctica Symposium and workshop*, Hasselt Üniversitesi, Belçika, 2009.
- FORS *et al.*2008
Fors, Y., Nilsson T., Risberg E. D., Sandström M., Torssander P., “Sulfur Accumulation in Pinewood (*Pinus Sylvestris*) Induced by Bacteria in a Simulated Seabed Environment: Implications for Marine Archaeological Wood and Fossil Fuels”, *International Biodeterioration & Biodegradation*, 62(4), 2008, 336-347.
- FORS *et al.*2008
Fors, Y., Nilsson T., Risberg E. D., Sandström M., Torssander P., “Sulfur Accumulation in Pinewood (*Pinus Sylvestris*) Induced by Bacteria in a Simulated Seabed Environment: Implications for Marine Archaeological Wood and Fossil Fuels”, *International Biodeterioration & Biodegradation*, 62(4), 2008, 336-347.

- FORS *et al.* 2012 Fors, Y., Jalilehvand, F., Risberg, E. D., Björddal, C., Phillips, E., Sandström, M., “Sulfur and iron analyses of marine archaeological wood in shipwrecks from the Baltic Sea and Scandinavian waters”, *Journal of Archaeological Science*, 39(7), 2012, 2521-2532.
- FORS *et al.* 2014 Fors, Y., Grudd, H., Rindby, A., Jalilehvand, F., Sandström, M., Cato, I., Bornmalm, L., “Sulfur and iron accumulation in three marine-archaeological shipwrecks in the Baltic Sea: The Ghost, the Crown and the Sword”, *Scientific reports* 4, 2014, 4222.
- FORS *et al.* 2015 Fors, Y., Grudd, H., Rindby, A., Bornmalm, L., “X-ray fluorescence for cultural heritage: scanning biochemical fingerprints in archaeological shipwrecks”, *Spectrosc. Eur.*, 27(1), 2015, 11-13.
- GIORGI *et al.* 2005 Giorgi, R., Chelazzi, D., Baglioni, P., “Nanoparticles of calcium hydroxide for wood conservation. The deacidification of the Vasa warship”, *Langmuir*, 21(23), 2005, 10743-10748.
- GODFREY *et al.* 2011 Godfrey, I., Richards, V., Cha, M., “The post-treatment deterioration of marine archaeological wood—where to now”, *Asia-Pacific regional conference on underwater cultural heritage*. Manila, Philippines, 2011, 697-713.
- HÅFORS 2010 Håfors, B., *Conservation of the Wood of the Swedish Warship Vasa of A.D. 1628: Evaluation of Polyethylene Glycol*, Gothenburg Üniversitesi, Yayınlanmamış Doktora Tezi, 2010.
- HOCKER 2006 Hocker, E., “From the Micro-to the Macro-: Managing the Conservation of the Warship, Vasa”, *Macromolecular symposia*, 238-1, 2006, 16-21.
- HOCKER *et al.* 2012 Hocker, E., Almkvist, G., Sahlstedt, M., “The Vasa experience with polyethylene glycol: A conservator’s perspective”. *Journal of cultural heritage*, 13(3), 2012, 175-182.
- KILIÇ-KILIÇ 2018 Kılıç, N., Kılıç, A. G., “Analysis of Waterlogged Woods: Example of Yenikapı Shipwreck”, *Art-Sanat Dergisi*, (9), 2018, 1-11.
- KILIÇ 2013 Kılıç, A. G., *Yenikapı Batıkları için Kurulacak Müzede Sergileme, Koruma-Bakım ve Depolama Yöntemlerinin Karşılaştırmalı olarak Araştırılması*, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, 2013.
- KILIÇ 2017a Kılıç, A. G., *Yenikapı Batıklarında Sülfür ve Demir Analizi, Dağılımı ve Ahşaplardan Uzaklaştırılması*, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yayınlanmamış Doktora Tezi, 2017.
- KILIÇ 2017b Kılıç, N., *Yenikapı Batıklarının Korunmasında Polietilen Glikol Ön Emdirmesi-Vakumlu Dondurarak Kurutma Yönteminin Değerlendirilmesi*, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yayınlanmamış Doktora Tezi, 2017.
- KILIÇ 2019 Kılıç, A. G., “Monitoring of the Conserved YK1 Shipwreck During Storage”, *Symposium on Restoration and Conservation of Traditional Timber Structures* 7, İstanbul, 2019.

- KIM-PARK 2020
Seojin, K. I. M., PARK, W. J., “Characteristics of Emission Substances by Acid-Degradation of Shinan Wreck, Republic of Korea”, *International Journal of Conservation Science*, 11(1), 2020.
- MANDERS 2017
Manders, M. R., Preserving a layered history of the Western Wadden Sea: managing an underwater cultural heritage resource, Leiden Üniversitesi, Yayınlanmamış Doktora Tezi 2017.
- MONACHON *et al.*2020
Monachon, M., Albelda-Berenguer, M., Pelé, C., Cornet, E., Guilminot, E., Rémazeilles, C., Joseph, E., Characterization of model samples simulating degradation processes induced by iron and sulfur species on waterlogged wood. *Microchemical Journal*, 155, 2020, 1047-1056.
- MORTENSEN *et al.*2018
Mortensen, M. N., Chaumat, G., Gambineri, F., Kutzke, H., Łucejko, J. J., McQueen, C. M., Modugno, F., Tamburini, D., Taube, M., “Climatically induced degradation processes in conserved archaeological wood studied by time-lapse photography”, *Studies in Conservation*, 64(2) 2018, 115-123.
- RÉMAZEILLES *et al.*2010
Rémazeilles, C., Saheb, M., Neff, D., Guilminot, E., Tran, K., Bourdoiseau, J. A. & Refait, P., “Microbiologically influenced corrosion of archaeological artefacts: characterisation of iron (II) sulfides by Raman spectroscopy”, *Journal of Raman Spectroscopy*, 41(11), 2010, 1425-1433.
- RÉMAZEILLES *et al.*2016
Remazeilles, C., Leveque, F., Minjacq, M., Refait, P., Sanchez, C., Jézégou, M. P., “Characterisation of iron (II) sulfides in wet archaeological woods: the wreck of Mandirac (IV th century, antique ports of Narbonne, France)”, *WOAM*, 2016, May 2016, Florence, Italy.
- RÉMAZEILLES *et al.*2019a
Remazeilles, C., Leveque, F., Conforto, E., Meunier, L., Refait, P., “Contribution of magnetic measurement methods to the analysis of iron sulfides in archaeological waterlogged wood iron assemblies”, *Microchemical Journal*, 148, 2019, 10-20.
- RÉMAZEILLES *et al.*2019b
Rémazeilles, C., Meunier, L., Lévêque, F., Plasson, N., Conforto, E., Crouzet, M., Refait, P., Caillat, L., “Post-treatment Study of Iron/Sulfur-containing Compounds in the Wreck of Lyon Saint-Georges 4 (Second Century ACE)”, *Studies in Conservation*, 65(1), 2019, 28-36.
- JALILEHVAND *et al.*2001
Jalilehvand, F., Sandstrom, M., Persson, I., Gelius, U., Frank, P., “Acidity and Salt Precipitation on the Vasa: The Sulfur Problem”, *Proceedings of the 8th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference*, Stockholm, 2001.
- SANDSTRÖM *et al.*2005a
Sandström, M., Jalilehvand, F., Damian, E., Fors, Y., Gelius, U., Jones, M., Salomé, M., “Sulfur in the Timbers of Henry VIII’s Warship Mary Rose: Synchrotrons Illuminate Conservation Concerns”. *SSRL Science Highlights* [Online] 2005.

- SANDSTRÖM *et al.* 2005b Sandström, M., Jalilehvand, F., Damian, E., Fors, Y., Gelius, U., Jones, M., Salomé, M., “Sulfur accumulation in the timbers of King Henry VIII’s warship Mary Rose: A pathway in the sulfur cycle of conservation concern”, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102(40), 2005, 14165-14170.
- SCHOFIELD-CHADWICK 2011 Schofield, E. J., Chadwick, A. V. C., “Conservation of Mary Rose Timbers”, *Proceedings of the 11th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference, Greenville 2010, 2011*, 419-425.
- SEGAL *et al.* 2009 Segal, H., Y. Cahanov, J. Tresman, M. S. Eisen, The Ma’agan Mikhael Ship: Monitoring the Conservation of the Hull, Leon Recanati Institute for Maritime Studies, Haifa Üniversitesi, 2009.
- UNGER *et al.* 2001 Unger, A., Schniewind, A., Unger, W., *Conservation of wood artifacts: a handbook*, Springer Science & Business Media 2001.
- WETHERALL *et al.* 2008 Wetherall, K. M., Moss, R. M., Jones, A. M., Smith, A. D., Skinner, T., Pickup, D. M., Goatham, S. W., Newport, R. J., “Sulfur and iron speciation in recently recovered timbers of the Mary Rose revealed via X-ray absorption spectroscopy”, *Journal of Archaeological Science*, 35(5), 2008, 1317-1328.

SUYA DOYMUŞ AHŞAPTA GERÇEKLEŞTİRİLEN TEMEL ANALİZ UYGULAMALARI

FUNDAMENTAL ANALYSES PERFORMED ON THE WATERLOGGED WOOD



* Namık Kılıç

Anahtar kelimeler: Suya doymuş ahşap, analiz, konservasyon, bozulma, yoğunluk, görüntüleme.

Keywords: Waterlogged wood, analysis, conservation, degradation, density, imaging.

ÖZET

Bu makalenin amacı, suya doymuş ahşap üzerinde gerçekleştirilen bazı temel analiz uygulamaları ile elde edilen verilerin neler olduğu ve bunların hangi amaçlarla kullanılabildiği ile ilgili bilgi vermektir. Günümüzde teknolojik gelişmeyle birlikte suya doymuş ahşap eserlerin analiz çalışmalarında pek çok farklı ve yeni yöntem kullanılmaktadır. Ancak bu makale kapsamında bu analizler arasında en çok tercih edilen temel analiz uygulamalarının verilmesi amaçlanmıştır. Bu analizlerin gerçekleştirilmesindeki amaç, genellikle suya doymuş ahşabın özelliklerini karakterize etmek, bir anlamda bozulmaya uğramış yapıyı aydınlatmak ve koruma çalışmalarını uygun bir şekilde yönetmektir. Değerlendirmeye alınan söz konusu analizler; maksimum su içeriği, yoğunluk, ahşap madde kaybı, fourier transform infrared spektroskopisi (FTIR), taramalı elektron mikroskobu (SEM), taramalı elektron mikroskobu (SEM) enerji dağılımlı X ışını spektroskopisi (EDX), radyografik metotlar, X ışını floresans spektroskopisi (XRF) ve X ışını kırınımı (XRD) analizleridir.

ABSTRACT

The objective of this article is to explain the data obtained by some fundamental analyses performed on waterlogged wood, and the ways of utilizing this data. Today, thanks to state-of-art technology, many different and new methods are used in the analysis of waterlogged wooden artifacts. However, this article aims to provide the most preferred basic analytical practices among all. The purpose of carrying out these analyses is mainly to characterize the properties of waterlogged wood, understand the degradation level of its nature and properly manage the conservation work. The analyses taken into consideration are: maximum water content, basic density, loss of wood substance, fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), scanning electron microscopy (SEM), scanning electron microscope (SEM) energy dispersed X-ray spectroscopy (EDX), radiographic methods, X-ray fluorescence spectroscopy (XRF) and X-ray diffraction (XRD) analysis.

*Dr. Öğr. Üyesi Namık KILIÇ, Orcid ID: 0000-0002-6353-6916. İstanbul Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Sualtı Kültür Kalıntıları Koruma Anabilim Dalı.

*Asst. Prof. Namık KILIÇ, Orcid ID: 0000-0002-6353-6916. Department of Conservation of Marine Archaeological Objects Faculty of Letters, İstanbul University

GİRİŞ

Suya doymuş ahşabın koruma-onarım sürecini gerçekleştirebilmek için bozulmuş durumdaki ahşabın özelliklerinin ve problemlerinin çok iyi derecede karakterize edilmesi gerekmektedir. Bu karakterizasyon bozulmuş ahşabın, bozulmaya uğramadan önce kaybetmiş olduğu özelliklerinin belki de bir bölümünü ona yeniden kazandırmak için oldukça önemlidir. Dolayısıyla ahşabın hangi özelliklerinin ne oranda değişime uğradığını bilmek, gerçekleştirilecek koruma stratejisini belirleyerek, koruma işlemlerinin bu alanlarda sürdürülebilmesini sağlayacaktır. Bu analizler ayrıca koruma sonrasında ahşabın zamanla değişen veya bozulmaya uğrayan bazı özelliklerinin anlaşılabilmesi için de kullanılarak, aslında eser var olduğu müddetçe bakım süreçlerinin bir parçası olmaktadır. Bu açıdan değerlendirildiğinde söz konusu analiz uygulamaları, eserlerin ilk bulunduğu aşamada başlayıp konservasyon, sergileme veya depolama aşamasındaki bakım süreçlerinde dahi devam eden oldukça geniş kapsamlı çalışmalardır. Tarihsel gelişimi açısından değerlendirildiğinde başlangıçta oldukça sınırlı aletlerle gerçekleştirilen bu çalışmalar, günümüzde teknolojik gelişime paralel olarak farklı disiplinlerdeki analizlerin kültürel mirasın karakterizasyonu ve korunmasına uyarlanmasıyla oldukça zenginleşmiştir. Burada söz konusu analiz uygulamalarının tamamını vermek yerine, suya doymuş ahşabın bozulma durumunu, özelliklerini, bozulmuş yapının değerlendirilmesinin anlaşılmasına yarayan ve daha fazla tercih edilen genel analizler üzerinde durulmuştur.

MAKSİMUM SU İÇERİĞİ

Maksimum su içeriğinin analizi (U_{max}), suya doymuş ahşabın fiziksel durumunu değerlendirmek için en çok tercih edilen basit bir analiz tekniğidir. Bu yöntemde, suya doymuş ahşabın maksimum su içeriğinin tespit edilebilmesi amacıyla ahşaptan örnekler alınmaktadır. Ahşaptaki su miktarı odun dokusunun hasar derecesine bağlı olarak çoğunlukla düzensiz bir şekilde değiştiğinden, su miktarının ve su dağılımının aynı ahşabın değişik bölümlerinden alınan örnekler ile tespit edilmesi gerekmektedir. Bu yüzden ahşabın farklı alanlarından alınan örneklerle su dağılımının doğru bir şekilde hesaplanması amaçlanmaktadır. Alınan örneklerin ıslak ağırlığı hassas terazi ile ölçülmekte ve hesaplama için gereken örnekler daha sonra fırın içerisinde kurutulmaktadır. Söz konusu yöntemde maksimum su içeriğinin tespit edilebilmesi amacıyla aşağıdaki formül kullanılmaktadır.¹ Kurutulan örnekler desikatör içerisinde oda sıcaklığına geldiğinde tekrar tartılmakta ve maksimum su içeriği % değerinde hesaplanmaktadır.²

1 JELIC 2011

2 McCONNACHIE vd. 2008

INTRODUCTION

In order to perform conservation/restoration process of waterlogged wood, it is necessary to characterize the properties and problems of the degraded wood very well. This characterization is very important in regaining some of the properties of the wood that has been lost before it has degraded. Thus, knowing which properties of the wood have changed to what extent will enable us to determine the preservation strategy to be used and act accordingly. Additionally these analyses can also be used throughout the lifespan of the artifact, and make part of its maintenance process, particularly to explore the properties of the wood that transform or degrade following the conservation process through time. Analysis studies are comprehensive and start with the exploration of artifacts and continue with the maintenance processes during conservation, exhibition and storage. Considering its historical development, these studies, which were carried out with very limited instruments at the beginning, have become enriched by adapting the analyses in different disciplines to the characterization and preservation of cultural heritage in parallel with the technological development. Here, our focus is rather on the degradation status, and the properties of waterlogged wood, the evaluation and understanding of the degraded structure, and the preferred analyses, and not all of the analysis practices are in question.

MAXIMUM MOISTURE CONTENT

Analysis of maximum moisture content (U_{max}) is the most preferred simple analysis technique for evaluating the physical condition of waterlogged wood. In this method, samples are taken from the waterlogged wood in order to determine the maximum water content. Since the amount of water in wood often changes irregularly depending on the degree of damage to the wood fibre, the amount of water and water distribution must be determined by samples taken from different parts of the same wood. Therefore, it is important to accurately calculate the distribution of water with samples taken from different parts of the wood. The wet weight of the samples taken is measured with precision scales and the samples required for calculation are then dried in the oven.

Then, the following formula is used to determine the maximum water content.¹ The dried samples are weighed again when they reach room temperature in the desiccator, and then maximum water content is calculated in percentage value.²

1 JELIC 2011

2 McCONNACHIE *et al.* 2008

$$\%U_{\max} = [(A - B) / B] \times 100$$

A: Islak örneğin kütlesi, B: Kuru örneğin kütlesi

Yapılan hesaplamalara göre bulunan su miktarı % 400'ün üzerindeyse ahşaplar 1. sınıf, % 185-400 arasında ise 2. sınıf ve % 185'in altında ise 3. sınıf bozulmaya uğramış ahşap olarak değerlendirilmektedir.³

YOĞUNLUK VE AHŞAP MADDE KAYBI

Bu yöntemde ahşabın yoğunluğunun belirlenebilmesi amacıyla örnek, bir iğnenin ucunda bütün gözenekleri su ile dolu iken tartılmakta ve maksimum su içeriğinin tespit edildiği yöntemde olduğu gibi fırın içerisinde kurutulmaktadır.

Uygulamada aşağıdaki formül kullanılmaktadır.

$$BD = m_d / V_w$$

BD: Yoğunluk (g/cm³),

md: Örneğin fırın kurusu kütlesi (g),

Vw: Suyu doymuş örneğin hacmi (cm³)⁴

Bu yöntemde elde edilen yoğunluk verileri kullanılarak ahşapta meydana gelen madde kaybı tespit edilmektedir. Burada elde edilen veriler bozulmuş ahşapla bozulmaya uğramadan önceki ahşap arasında karşılaştırma yapılmasına imkan tanıdığından, ahşaptaki bozulmanın matematiksel olarak tespit edilmesine de olanak tanımaktadır.^{5,6} Bu sayede suya doymuş ahşapta meydana gelen bozulma daha anlaşılır bir şekilde tanımlanmaktadır. Ahşaptaki madde kaybı (%) aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır.⁷

$$\text{Ahşap madde kaybı (\%)} = \frac{d_{\text{referans ahşap}} - d_{\text{suya doymuş ahşap}}}{d_{\text{suya doymuş ahşap}}} \times 100$$

$d_{\text{suya doymuş ahşap}}$: Suyu doymuş ahşap örneğin yoğunluğu (g/cm³),

$d_{\text{referans ahşap}}$: Referans ahşap örneğin yoğunluğu (g/cm³).

$$\%U_{\max} = [(A - B) / B] \times 100$$

A: Mass of wet sample, B: Mass of dry sample

According to the calculations, if the amount of water found is over 400%, the degradation on the wood is considered as class I, if 185-400%, class II and below 185% it's a class III degradation.³

BASIC DENSITY AND LOSS OF WOOD SUBSTANCE

In this method, in order to determine the basic density of the wood, the sample is weighed on one end of a needle while all its pores are filled with water and dried in the oven in a similar method where the maximum water content is determined.

This method uses the following formula:

$$BD = m_d / V_w$$

BD: Density (g/cm³),

m_d : For example, oven dried mass (g),

V_w : Waterlogged sample volume (cm³)⁴

By using the basic density data obtained with this method, the loss of wood substance is detected. Since the data obtained here allows comparisons between degraded wood and the wood prior to degradation, a mathematical calculation approach for detecting the degradation in the wood is logical.^{5,6} Thus making the level of degradation in the waterlogged wood more understandable. Loss of wood substance (%) is calculated by the formula below.⁷

$$\text{Loss of wood substance (\%)} = \frac{d_{\text{reference wood piece}} - d_{\text{waterlogged wood}}}{d_{\text{waterlogged wood}}} \times 100$$

$d_{\text{waterlogged wood}}$: Density of the waterlogged wood sample (g/cm³),

$d_{\text{reference wood piece}}$: Density of the reference wood piece (g/cm³).

3 HAMILTON 1999

4 BABIŃSKI vd. 2014

5 KILIÇ-KILIÇ 2019b

6 GRATTAN 2000

7 ENGLISH HERITAGE 2010

3 HAMILTON 1999

4 BABIŃSKI *et al.* 2014

5 KILIÇ-KILIÇ 2019b

6 GRATTAN 2000

7 ENGLISH HERITAGE 2010

FOURIER TRANSFORM INFRARED SPEKTROSKOPİSİ (FTIR) ANALİZLERİ

FTIR analizi, numuneden geçirilen kızılötesi ışının absorpsiyonu ile oluşan kimyasal bağların titreşiminin ölçülmesi prensibine dayanmaktadır. Kimyasal bağların titreşimindeki değişim spektral bantların meydana gelmesini sağlamaktadır. Her fonksiyonel grup kendine özgü titreşim sıklığına sahip olup aynı zamanda her kızılötesi ışın dizisi (spektrum) de kendine özgüdür. Günümüzde suya doymuş ahşabın bozulma sürecinin anlaşılmasında FTIR analizi yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu analiz, ahşap malzemede onun tüm bileşenlerini aynı anda analiz etmeye olanak tanıyan kullanışlı bir tekniktir. FTIR ile ahşabın kimyasal bileşimi ile ilgili yapısal bilgiler elde edilerek, kimyasal olarak işlem görmüş veya emdirme işlemine alınmış ahşap malzemedeki değişimlerin anlaşılabilmesi de mümkündür.⁸ Bu açıdan değerlendirdiğimizde örneğin polietilen glikol veya melamin formaldehit emdirilmiş ahşapta söz konusu kimyasalın varlığı bu yöntemle belirlenebilmektedir.⁹ Suya doymuş ahşapta kullanım kolaylığından dolayı yoğun olarak kullanılan FTIR-ATR ile toz numuneler veya küçük ahşap parçaları direkt olarak analiz edilebilmektedir. Bu yöntem ile çok küçük numunelerin (100 µm² ye kadar) analizi yapılabilmekte, ahşabın farklı kimyasal bileşenlerinin, lignin, selüloz ve hemiselüloz oranlarını belirleyen bir spektrum elde edilmektedir. Söz konusu spektrum, ahşabın kimyasal durumunun değerlendirilmesi amacıyla kullanılabilir.^{10,11} Analiz kapsamında suya doymuş ahşap örnekleri, bozulma sonrası meydana gelen kimyasal değişimin anlaşılabilmesi için sağlam durumdaki referans örneklerle karşılaştırma yapılarak değerlendirilmektedir.

FOURIER TRANSFORM INFRARED SPECTROSCOPY (FTIR) ANALYSES

FTIR analysis is based on the calculation of chemical bond vibration deriving from the absorption of the infrared beams sent through the sample. Vibration change in chemical bonds leads to the formation of spectra. Each functional group has its own vibration frequency, and each infrared ray array (spectrum) is unique. Today FTIR analysis is widely used to understand the degradation process of waterlogged wood. This is a handy technique that allows all components of the wood material to be analysed simultaneously. It also allows to understand the changes in the wood material that has been chemically treated or impregnated by obtaining structural information about the chemical composition of the wood through FTIR analysis.⁸ Considering this, we might also be able to determine the presence of the chemical in the wood impregnated with polyethylene glycol or melamine formaldehyde by using the same method.⁹ Due to its ease of use in waterlogged wood, powder samples or small pieces of wood can be analysed directly with FTIR-ATR. With this method, it is possible to analyse even very small samples (up to 100 µm²) and obtain a spectrum that determines the ratios of lignin, cellulose and hemicellulose in different chemical components of wood. The spectrum in question can be used to assess the chemical composition of wood.^{10,11} As part of the analysis, waterlogged wood samples are evaluated by comparing them with solid reference samples to understand the chemical change that occurs after deterioration.



Fig. 1: Ahşabın analiz çalışmalarında yaygın olarak kullanılan ATR-FTIR cihazı.

Fig. 1: ATR-FTIR device widely used in the analysis of wood.

8 FORS – RICHARDS 2010

9 KILIÇ-KILIÇ 2019a

10 ENGLISH HERITAGE 2010

11 PUCETAITE 2012

8 FORS – RICHARDS 2010

9 KILIÇ-KILIÇ 2019a

10 ENGLISH HERITAGE 2010

11 PUCETAITE 2012

TARAMALI ELEKTRON MİKROSKOBU (SEM) ANALİZLERİ

Taramalı elektron mikroskopunda optik mikroskopta olduğu gibi ışık demeti yerine elektron demeti kullanılarak yüksek enerjili elektronların numune ile etkileşime girmesi sağlanmaktadır. Bu etkileşim sonrası elektron ve foton sinyalleri meydana gelmektedir. Değişik açılardan saçılan söz konusu elektronlar, bir algılayıcı tarafından toplanır ve toplanan sinyallerin işlenmesi ile görüntü elde edilir.¹² Suya doymuş ahşap örneklerde meydana gelen fiziksel ve biyolojik bozulmaların görsel olarak incelenmesi için Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM) ile gerçekleştirilen görüntülemeler oldukça önemli olup yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca suya doymuş ahşapta emdirme işleminden sonra kimyasal ahşap hücre duvarındaki dağılımının görüntülenmesi ve ahşaptaki varlığının tespiti emdirme uygulamasının başarılı olup olmadığını anlayabilmek için de kullanılmaktadır. Bu sayede suya doymuş ahşabın kimyasal malzemeyi emdiği tespit edilerek emdirme işlemi sonlandırılabilir.¹³

Bu yöntemde suya doymuş ahşap örneklerden kesitler, üç yönde (enine, radyal ve teğet) hazırlanmaktadır. Ahşaplardan alınan örnekler üzerinde istenen görüntülerin elde edebilmesi için söz konusu örneklerin kesitlerinin düzgün bir şekilde hazırlanması gerekmektedir. Elektron demeti ile taranmış bu kesitlerin incelenmesi ile SEM görüntüleri değerlendirilmektedir. Suya doymuş ahşabın incelenmesi için çoğunlukla 0-230 Pa basınç ile çalışmaya imkan tanıyan düşük vakumlu SEM (LV-SEM) kullanılmaktadır.¹⁴ Düşük vakumlu SEM ile çalışmak ıslak durumdaki hassas suya doymuş ahşap örnekler üzerinde de incelemelerde bulunmayı mümkün kılmaktadır.^{15,16}

SCANNING ELECTRON MICROSCOPE (SEM) ANALYSIS

The scanning electron microscope uses electron beam instead of light beam used in optical microscopes, to facilitate the interaction of the sample with high energy electrons. Electron and photon signals derive from this interaction. Then a sensor collects the electrons scattered from different angles, and in the final stage, the image is processed from the collected signals.¹² Imaging with a Scanning Electron Microscope (SEM) is fundamental for the visual examination of physical and biological deterioration in waterlogged wood samples, and it is widely used. It is also used to monitor the distribution of the chemical in the wood cell wall after the impregnation process in waterlogged wood and to understand whether the impregnation application was successful or not. Thus, the impregnation process is terminated following the detection that the waterlogged wood already absorbed the chemical material.¹³

In this method, three cross-sections of waterlogged wood samples are prepared (transverse, radial and tangent). The desired images on the samples taken from the wood, can be obtained through a meticulous preparation of the sampled sections. Then, the SEM images are examined for the evaluation of these sections that were scanned with electron beam. Low vacuum SEM (LV-SEM) is used for the examination of waterlogged wood, which allows working with 0-230 Pa pressure mostly.¹⁴ Working with low-vacuum SEM also makes it possible to investigate wet, and sensitive waterlogged wood samples.^{15,16}

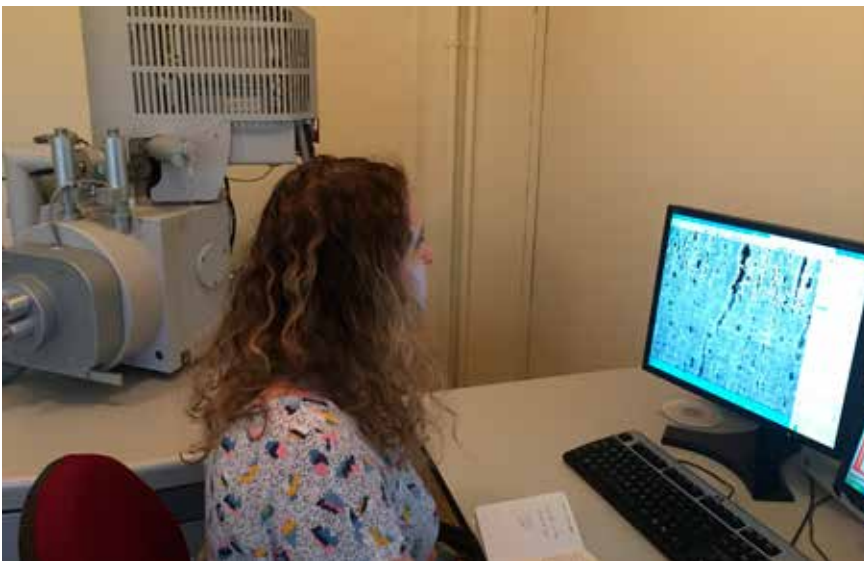


Fig. 2: SEM ile suya doymuş ahşapta gerçekleştirilen görüntüleme.

Fig. 2: SEM Imaging performed on water-saturated wood.

12 OXFORD DICTIONARY OF SCIENCE 2005

13 UNGER vd. 2001

14 JENSEN vd. 2001

15 KILIÇ 2017a ; KILIÇ 2017b

16 JENSEN vd. 2001

12 OXFORD DICTIONARY OF SCIENCE 2005

13 UNGER *et al.* 2001

14 JENSEN *et al.* 2001

15 KILIÇ 2017a ; KILIÇ 2017b

16 JENSEN *et al.* 2001

RADYOGRAFİK METOTLAR

Kültürel mirasın tahribatsız olarak incelenmesi amacıyla en çok kullanılan görüntüleme yöntemleri arasında X ışınları veya gama ışınlarının kullanıldığı radyografik yöntemler gelmektedir. Bunların yanı sıra yüklü parçacıklar veya nötronlar aracılığıyla da ahşabın içerisinden geçen radyasyon homojen olmayan, farklı yoğunluklardaki dokulara göre değişen oranlarda bir görüntü farkı oluşmasına neden olur. Ahşabın radyasyonu emme katsayısı bilgisayar tarafından hesaplanarak anlamlı görüntüler haline getirilir. Bu katsayı ahşabın yoğunluğuna ve maksimum su içeriğine göre değişir. Böcekler veya yumuşakçalar tarafından yok edilen bu alanlar farklı yoğunlukta olacağından bu yöntemde bu alanlar kolaylıkla ayırt edilebilmektedir

Bu yöntem özellikle metallerin koruma-onarım ve tıpkı yapımında kullanıldığı gibi, suya doymuş ahşap eserlerin de görsel değerlendirmelerini yapmak için kullanılmaktadır. Suya doymuş ahşabın yüzey alanlarını görsel olarak incelemek mümkündür; ancak yüzeyin altında kalan göremediğimiz bölgelerinin incelenmesi amacıyla kullanılan yöntemlerin başında radyografik görüntülemeler gelmektedir. Bu yöntemde özellikle ahşap yiyici böcekler ve yumuşakçalarca hasara uğratılmış ve çoğunlukla içi boşaltılmış ahşaplardaki hasarın derecesi ve dağılımı tespit edilmektedir. Radyografik yöntemler, gizli birleşme detayları bulunan ahşap eserlerin incelenmesi ve bu alanların tespit edilebilmesi amacıyla da kullanılabilir.^{17,18}

TARAMALI ELEKTRON MİKROSKOBU (SEM) ENERJİ DAĞILIMLI X IŞINI SPEKTROSKOPİSİ (EDX) ANALİZLERİ

Gemi ahşaplarının birleştirilmesinde kullanılan demir çiviler daha sonra başlayan çeşitli reaksiyonlarla ah-

şaplarda bozulmalara neden olmaktadır. Günümüzde bu problemlerin oldukça yoğun bir şekilde yaşandığı Mary Rose ve Vasa gibi gemi ahşaplarının karşılaştığı en büyük sorunlardan birisi olan demir ve sülfür problemi, sergileme aşamasında ahşapların oldukça zarar görmesine neden olan bir süreci başlatabilmektedir.^{19,20} Demir ile temas halinde olan ahşaplarda, selüloz ya da ligninin bozulmasına neden olan bir elektriksel alan oluşabilmekte, ahşabın yapısında bulunan polimerlerin oksidasyonu hızlanmaktadır. Demir bileşiklerinin ahşapta neden olduğu bu bozulmaların yanı sıra suya doymuş ahşap konservasyonunda ahşaba emdirme amacıyla kullanılan polietilen glikol (PEG), metaller üzerinde korozif etkiye sahip olup ahşapta demir ve bileşiklerinin varlığı durumunda çeşitli problemlere neden olmaktadır. Dolayısıyla ahşaba zarar veren bu elementlerin tespiti oldukça önemli olup koruma çalışmalarına yön vermektedir. SEM-EDX ile elektron mikroskobunda örneğe verilen ve daha sonra geri saçılan elektronlar, örneğin atom numarası hakkında bilgi vermektedir. Bu sayede EDX ile ahşabın mikro yapısındaki elementlerin dağılımı belirlenebilmektedir. Bu yöntem, özellikle metal ve ahşabın birlikte kullanıldığı kompozit eserlerin incelenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Söz konusu süreci engellemek ve yönetmek için demir ve sülfürün ahşaptaki oranı ve dağılımının bilinmesi oldukça önemlidir. Dolayısıyla EDX analizleri ile ahşabın mikro yapısının hücre çeperinin lignin açısından zengin alanlarında bulunan sülfür dağılımı ile inorganik/organik sülfür bileşiklerinin oranı hakkında bilgi elde edilebilmektedir. Ayrıca ahşap üzerinde tespit edilen parçacıklardaki sülfür, demir oranı, bunların kimyasal bileşimleri hakkında da fikir vermektedir.^{21,22}

17 ENGLISH HERITAGE 2010

18 UNGER vd. 2001

19 SCHOFIELD vd. 2011

20 FORS 2008

21 FORS vd. 2011

22 KILIÇ 2017b

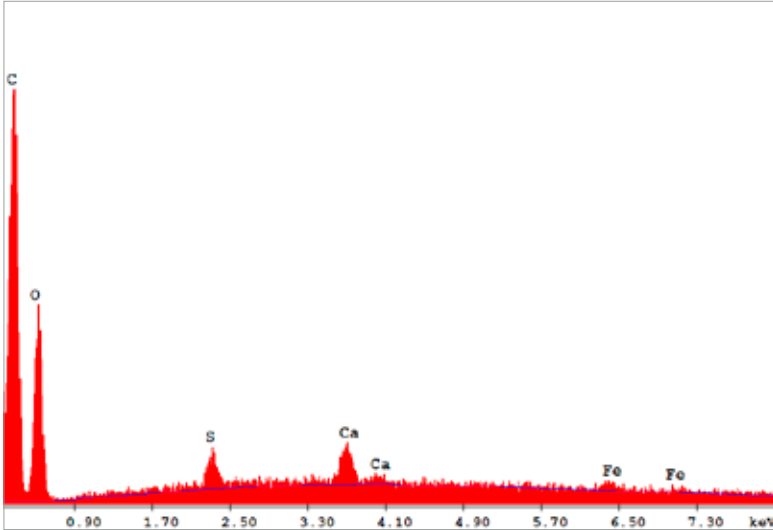


Fig. 3: Suyu doymuş ahşapta EDX ile tespit edilen bazı elementler.

Fig. 3: Some elements detected by EDX in waterlogged wood.

RADIOGRAPHIC METHODS

Radiographic methods using X-rays or gamma rays are among the most used imaging methods for the non-destructive study of cultural heritage. In addition to these, the radiation passing through the wood through charged particles or neutrons causes a difference on the image at different rates depending on the tissues of different densities, which are not homogeneous. Radiation absorption coefficient of wood is calculated by computer and meaningful images are created. The coefficient changes according to the basic density of the wood and the maximum water content. Since the areas destroyed by insects or mollusks will be of different density, they can easily be distinguished in this method.

This method is particularly used for the conservation, restoration and replica of metal artefacts, as well as for visually evaluating waterlogged wooden artefacts. It is possible to visually examine the surface areas of waterlogged wood, but radiographic imaging is one of the methods used to examine the areas we cannot see below the surface. In this method, the degree and distribution of the damage, especially in woods that have been damaged or hollowed by insects and mollusks are identified. Radiographic methods can also be used to examine wooden works with hidden junction details and to identify these areas.^{17,18}

SCANNING ELECTRON MICROSCOPY (SEM) AND ENERGY-DISPERSIVE X-RAY (EDX) SPECTROSCOPY ANALYSES

Iron nails used during the construction of ships cause deterioration with various reactions in wood that start

later. The issue that iron and sulfur causes in wood, currently experienced intensely by shipwrecks such as Mary Rose and Vasa, can initiate a process that causes the woods to be damaged in the exhibition stage.^{19,20} In woods that are in contact with iron, an electrical field is formed that causes the disruption of cellulose or lignin, and accordingly accelerates the oxidation of the polymers in the wood structure. In addition to these distortions caused by iron compounds in wood, polyethylene glycol (PEG), which is used for the conservation of the waterlogged wood through impregnation, has a corrosive effect on metals and causes various problems in the presence of iron and its compounds in wood. Hence, detection of corrosive elements beforehand is a crucial, and guiding step. For example, when we want to have information about the atomic number, we send electrons to the sample with SEM-EDX in the electron microscope, when these electrons are scattered back, we receive the information that we wanted. Thus, the distribution of the elements in the microstructure of wood can be determined with EDX. This method is widely used especially in the study of composite artifacts where metal and wood are used together. It is very important to know the ratio and distribution of iron and sulfur in wood to prevent and manage the process in question. Thus, EDX analysis provides information about the sulfur distribution, and the ratio of inorganic / organic sulfur compounds in the lignin-rich areas of the cell wall of the microstructure of wood. It also gives an idea about the sulfur, iron content and chemical composition of the particles detected on the wood.^{21,22}

17 ENGLISH HERITAGE 2010

18 UNGER *et al.* 2001

19 SCHOFIELD *et al.* 2011

20 FORS 2008

21 FORS *et al.* 2011

22 KILIÇ 2017b



Fig. 4: Mary Rose Batığına ait ahşaplarda XRF ile gerçekleştirilen analizler.

Fig. 4: XRF analyses performed on Mary Rose shipwreck.

X IŞINI FLORESANS SPEKTROSKOPİSİ (XRF) ANALİZLERİ

XRF cihazının çalışma prensibine göre atomlar X ışınları ile uyarıldıklarında, bu yüksek enerji girişi yakın yörüngelerdeki elektronları daha yüksek enerji düzeyine çıkarır. Uyarılan elektronlar ilk enerji düzeylerine döndüklerinde kazanmış oldukları fazla enerjiyi X ışınları şeklinde geri verirler. Elementlerin verdiği bu ışımların dalga boyu her element için farklı olup bir nevi o elementin parmak izi olarak görülebilir. Işımanın dalga boyunun saptanmasıyla elementin cinsi (nitel), saptanan bu ışının yoğunlu-

ğunun ölçülmesiyle element konsantrasyonu (nicel) tespit edilebilmektedir. XRF cihazı kullanılarak yapılan ölçümler ile elde edilen yarı-kantitatif analizler, ahşabın farklı kısımlarından alınan örneklerdeki demir ve sülfür oranlarının karşılaştırılması için de kullanılmaktadır.²³ Taşınabilir cihazlarla oldukça kolay bir şekilde tahribatsız olarak yapılan ölçümler ile ahşaplardaki inorganik kalıntılar kolaylıkla tespit edilebilmektedir. XRF analizi ile suya doymuş ahşapta yapılan ölçümlerde, demir, sülfür, kalsiyum ve klor gibi elementlerle sıklıkla karşılaşılmaktadır.

23 TITE 2000

X RAY FLUORESCENCE SPECTROSCOPY (XRF) ANALYSES

According to the XRF device's operating principle, when atoms are stimulated by X-rays, this high energy input increases the electrons in near orbits to a higher level of energy. When stimulated electrons return to their initial energy levels, they give back the excess energy they gained in the form of X-rays. The wavelengths of radiations from different elements vary based on the element they derive from. In a sense they are the fingerprints of the elements they originated from. The type of the element (qualitative) can be determined by determining the wavelength

of the radiation, and the element concentration (quantitative) can be determined by measuring the intensity of this detected beam. Semi-quantitative analysis obtained with measurements using the XRF device is also used to compare the iron and sulfur ratios in samples taken from different parts of wood.²³ Inorganic residues in wood can be easily detected by portable devices through measurements performed easily and without destroying the artefact. Iron, sulfur, calcium and chlorine are among the elements often found when performing measurements by XRF analysis in waterlogged wood.

23 TITE 2000

X IŞINI KIRINIMI (XRD) ANALİZLERİ

XRD yöntemi, kendine özgü atomik dizilimlerine bağlı olarak her kristal fazın, X ışınlarını karakteristik bir düzen içerisinde kırması ilkesine dayanmaktadır. Arkeolojik eserlerde oldukça yaygın olarak kullanılan analiz yöntemlerinden bir diğeri X-Işını Kırınım (XRD) yöntemidir. Suya doymuş ahşapta da özellikle bozulmaya neden olan koşulların araştırılması için kullanılan analiz yöntemi, ahşap yüzeylerindeki tuz çökeltileri gibi kristal bileşimlerin tanımlamasında kullanılmaktadır. Söz konusu yöntem az miktardaki numuneler için oldukça uygundur.²⁴ Vasa, Mary Rose ve Batavia batıklarına ait ahşap yüzeylerinde tuz çökeltileri olduğundan, bunların tanımlanmasında XRD kullanılmıştır. Kimi batık ahşaplarında ise toz kristal yapı oluşmadığından XRD ile sonuç elde etmek zordur.²⁵ Bu analiz uygulaması ile Vasa Batığı'nda gerçekleştirilen XRD analizleri ile batık yüzeyindeki tuzların bir dizi hidratlanmış demir sülfat, jips ve elementel sülfür olduğu tespit edilmiştir.²⁶ Ahşaplarda gerçekleştirilecek koruma çalışmaları da çoğu zaman analiz çalışmaları ile belirlenen bu sorunların çözümüne yönelik olarak gerçekleştirilebilmektedir.

24 FORS 2008

25 KILIÇ 2017b

26 HOCKER vd 2012

X-RAY DIFFRACTION (XRD) ANALYSES

The XRD method is based on the principle of each crystalline phase breaking X-rays in a characteristic order depending on their unique atomic sequences. Another analysis method widely used in archaeological works is the X-Ray Diffraction (XRD) method. The analysis method used to investigate conditions that cause deterioration, especially in waterlogged wood, is used to identify crystal compositions such as salt deposits on wood surfaces. This method is pretty suitable for samples that have limited availability.²⁴ Since salt deposits form on the wooden surfaces of Vasa, Mary Rose and Batavia shipwrecks, XRD was used to identify them. In some submerged woods, it is difficult to get results with XRD since there is no powder crystal structure formation.²⁵ With this analysis application, the XRD analysis performed in Vasa Shipwreck revealed that the salts on the surface of the shipwreck were a series of hydrated iron sulfates, gypsum and elemental sulfides.²⁶ The conservation works to be carried out in wood can also be carried out for the solution of these problems, which are often determined by analysis studies.

24 FORS 2008

25 KILIÇ 2017b

26 HOCKER *et al.* 2012

DEĞERLENDİRME

Suya doymuş ahşap eserlerin koruma çalışmalarının bilimsel yöntemlere uygun olarak gerçekleştirilmesi bu çalışmaların başarılı olarak tamamlanabilmesi için oldukça önemlidir. Bu aşamada gerçekleştirilecek analiz uygulamaları, bozulmuş durumdaki ahşabın karakterizasyonunu ortaya koymakta olup aynı zamanda koruma süreçlerinin başarılı bir şekilde yönetilmesine de katkıda bulunmaktadır. Maksimum su içeriği analizi ile ahşabın içeriğinde bulunan su miktarı belirlenmekte, bir diğer ifade ile ahşap ne kadar fazla su içeriyorsa ahşabın yapısındaki fiziksel kayıpta o derece artmaktadır. Yoğunluk analizi ile de ahşabın bozulması belirlenebilmekte, bozulma arttıkça ahşabın yoğunluğu azalmaktadır. Ancak ahşap madde kaybı çalışmaları ile ahşapta meydana gelen fiziksel kayıp matematiksel olarak daha net bir şekilde ortaya konmakta; bu kapsamda aynı ahşabı bozulmamış ahşabın yoğunluk değerleri ile karşılaştırarak ahşap türüne özgü madde kaybı belirlenebilmektedir. Özellikle suya doymuş ahşap konservasyonunda emdirme amacıyla kullanılan Polietilen glikolün molekül ağırlığına karar verirken bu verilerin oldukça önemli olduğu bilinmektedir. FTIR analizleri ile bozulma sonrasında ahşapta meydana gelen kimyasal değişim tespit edilmekte ayrıca emdirme aşamasında ahşaplardan alınacak örneklerde emdirme kimyasalının varlığı belirlenebilmektedir. Yani bu analiz yöntemi ile

hem bozulma hem de koruma sürecini takip etmek mümkün olmaktadır. Görüntüleme yöntemleri arasında sıklıkla kullanılan SEM ile ahşaptaki fiziksel ve biyolojik bozulmalar görsel olarak belirlenmekte, ayrıca koruma açısından ahşabın gözeneklerine homojen bir şekilde penetre etmesi gereken kimyasalın dağılımı da gözlemlenmektedir. Bir diğer görüntüleme tekniği olan radyografik teknikler ile de ahşaptaki fiziksel ayrışmayı görsel olarak tespit etmek mümkündür. Makale kapsamında değerlendirilen bir diğer konu ise ahşaptaki inorganik kalıntıların tespit edilmesi ile ilgili tekniklerdir. Bu elementler, çoğu zaman ahşapların birleştirilmesinde kullanılan metal malzemelerden kaynaklandığı gibi ahşapların bulunduğu su altı koşulları da söz konusu durumu etkilemektedir. Bu element ve bileşiklerin tespit edilebilmesi için genellikle SEM-EDX, XRF ve XRD gibi analizler tercih edilmekte olup bunların dışında kullanılan aletli analiz uygulamaları da bulunmaktadır. Ahşapta biriken demir ve sülfür gibi elementler ve bunların bileşikleri özellikle sergileme aşamasında çok ciddi problemlere neden olmaktadır. Gerek koruma öncesinde gerekse sergileme aşamasında ahşaplardan alınacak örneklerde yapılacak SEM-EDX, XRF ve XRD analizleri ile element ve bileşiklerin, bir diğer ifadeyle problemlerin nitel ve nicel olarak tespiti mümkün olmakta, ahşapların karakterizasyon ve koruma planlaması bu veriler üzerinden belirlenmektedir.

DISCUSSION

It is very important to carry out the conservation works of waterlogged wooden artefacts in accordance with scientific methods for the success of this operation. The analytical practices to be carried out at this stage reveal the composition of the degraded wood and also contribute to the successful management of the conservation process. The maximum water content analysis determines the amount of water contained in the wood, in other words, the more water the wood contains, the more physical loss in the structure of the wood increases. Density analysis allows to determine the degradation of wood, and as the degradation increases, the density of the wood decreases. However, the physical loss in the wood becomes clearer quantitatively by studies of loss of wood substance; this way the loss of substances specific to the type of wood can be determined by comparing the same wood with the density values of intact wood. This data is very important especially when determining the molecular weight of polyethylene glycol, which is used for impregnating waterlogged wood conservation. With FTIR analysis, the chemical change occurring in the wood after deterioration is detected, and the presence of the impregnation chemical can be determined in the samples to be taken from the wood at the impregnation stage. In other words, it is possible to track both the

degradation and the conservation process with this analysis method. Physical and biological degradations in wood are visually determined with SEM, which is used frequently among the imaging methods, and the distribution of the chemical that should penetrate the pores of the wood homogeneously for conservation is also observed. It is possible to visually detect the physical degradation in wood through a radiographic technique which is another imaging technique. Another topic evaluated within the scope of the article is the techniques for detecting inorganic residues in wood. These elements are mostly caused by metal materials used for joining woods, as well as underwater conditions where woods are found, affecting the situation. In order to detect these elements and compounds, analyzes such as SEM-EDX, XRF and XRD are generally preferred, and there are also instrument analysis applications used. Elements such as iron and sulfur accumulated in wood and their compounds cause serious problems, especially during the exhibition phase. With SEM-EDX, XRF and XRD analyzes to be made on samples to be taken from wood, both before and during the conservation stage, it is possible to identify qualitatively and quantitatively the problems of the elements and compounds, in other words, the characterization and protection planning of the woods are determined through these data.

KAYNAKÇA-BIBLIOGRAPHY

- BABIŃSKI *et al.* 2014 Babiński, L., Izdebska-Mucha, D., Waliszewska, B., “Evaluation of the State of Preservation of Waterlogged Archaeological Wood Based on its Physical Properties: Basic Density vs. Wood Substance Density”, *Journal of Archaeological Science*, 46, 2014, 372-383.
- BRUNNING-WATSON 2010 Brunning R., Watson J., *Waterlogged Wood: Guidelines on the Recording, Sampling, Conservation and Curation of Waterlogged Wood*, English Heritage Publishing, Belgium, 2010.
- DAINTITH 2005 Daintith J., (Ed.) *Oxford Dictionary of Science*, Oxford University Press, Oxford, 2005.
- FORS 2008 Fors, Y., “Sulfur-Related Conservation Concerns for Marine Archaeological Wood: The Origin, Speciation and Distribution of Accumulated Sulfur with Some Remedies of the Vasa”, Stockholm Üniversitesi, Yayınlanmamış Doktora Tezi, 2008.
- FORS-RICHARDS 2010 Fors, Y. Richards, V., “The Effects of the Ammonia Neutralizing Treatment on Marine Archaeological Vasa Wood”, *Studies in Conservation*, 55(1), 2010, 45-54.
- FORS *et al.* 2011 Fors, Y., Jalilehvand, F., Sandström, M., “Analytical Aspects of Waterlogged Wood in Historical Shipwrecks”, *Analytical Sciences*, 27-8, 2011, 785-792.
- GRATTAN 2000 Grattan, D. W., “Wood (Waterlogged), Conservation”, Ellis, L., (Ed.) *Archaeological Method and Theory: An Encyclopedia*, Garland Publishing, New York & London, 2000.
- HAMILTON 1999 Hamilton, D. L., “Methods of Conserving Archaeological Material from Underwater Sites, Conservation of Cultural Resources I”, *Nautical Archaeology Program*, Texas A&M University, 1999.
- HOCKER *et al.* 2012 Hocker, E., Almkvist, G., Sahlstedt, M., “The Vasa Experience with Polyethylene Glycol: A Conservator’s Perspective”, *Journal of Cultural Heritage*, 13S, 2012, 175–182.
- JELIC 2011 Jelic, A., “Organic Material”, *Conservation of Underwater Archaeological Finds Manual*, Eds. L. Bekić, Č. Martina, J. Jelic, A. Antonija, M. Mladen, P. Tanja, P. Mladen, International Centre for Underwater Archaeology, 60-75, 2011, Zadar.
- JENSEN *et al.* 2002 Jensen, P., Jørgensen, G., Schnell, U., “Dynamic LV-SEM Analyses of Freeze Drying Processes for Waterlogged Wood”, Eds. P. Hoffmann, K. Strætkvern, J.A. Spriggs, D. Gregory, *Proceedings of the 8th ICOM Group on Wet Organic Archaeological Materials Conference*, 319-334, 2002, Stockholm.
- KILIÇ 2017a Kılıç, N., *Yenikapı Batıklarının Korunmasında Polietilen Glikol Ön Emdirmesi-Vakumlu Dondurarak Kurutma Yönteminin Değerlendirilmesi*, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yayınlanmamış Doktora Tezi, 2017.
- KILIÇ 2017b Kılıç, A. G., *Yenikapı Batıklarında Sülfür ve Demir Analizi, Dağılımı ve Ahşaplardan Uzaklaştırılması*, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yayınlanmamış Doktora Tezi, 2017.

- KILIÇ-KILIÇ 2019a Kılıç, N., Kılıç, A. G., “An Attenuated Total Reflection Fourier Transform Infrared (ATR-FTIR) Spectroscopic Study of Waterlogged Woods Treated With Melamine Formaldehyde”, *Vibrational Spectroscopy*, 105, 2019.
- KILIÇ-KILIÇ 2019b Kılıç, N., Kılıç, A. G., “Physical Properties for the Characterization of Waterlogged Archaeological Woods of Eight Yenikapı Shipwrecks from Byzantine Period,” *Mediterranean Archaeology & Archaeometry*, 19, 133-148. Infrared (ATR-FTIR) Spectroscopic Study of Waterlogged Woods Treated With Melamine Formaldehyde”, *Vibrational Spectroscopy*, 105, 2019.
- McCONACHIE *et al.* 2008 McConnachie, G., Eaton, R., Jones, M., “A Re-Evaluation of the Use of Maximum Moisture Content Data for Assessing the Condition of Waterlogged Archaeological Wood”, *e-Preservation Science*, 5, 29-35 2008.
- PUCETAITE 2012 Pucetaite, M., “Archaeological Wood from the Swedish Warship Vasa Studied by Infrared Microscopy”, *Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi*, Lund Üniversitesi, 2012.
- SCHOFIELD *et al.* 2011 Schofield, E. J., Sarangi, R., Mehta, A., Jones, A. M., Mosselmans, F. J., Chadwick, A. V., “Nanoparticle de-acidification of the Mary Rose. *Materials Today*”, 14(7-8), 2011, 354-358.
- TITE 2000 Tite, S. M., “X-Ray Fluorescence (XRF) Analysis”, Ed. Ellis, L., *Archaeological Method and Theory: An Encyclopedia*, Garland Publishing, New York & London, 2000.
- UNGER *et al.* 2001 Unger A., Schniewind, A.P., Unger, W., “Conservation Of Wood Artifacts”, New York, 2001.

TINA DENİZCİLİK ARKEOLOJİSİ DERGİSİ

YAZIM KURALLARI VE YAYIN İLKELERİ

AMAÇ VE KAPSAM

TINA Denizcilik Arkeolojisi Dergisi, “Denizcilik Arkeolojisi” alanında başta Anadolu kıyıları ve Akdeniz olmak üzere dünyanın çeşitli coğrafyalarında bilimsel çalışmalar sonucunda ulaşılan özgün malzeme üzerine hazırlanmış ya da konusunda özgün fikirler üretmeyi amaçlayan çalışmaları yayınlamayı hedefler. Derginin yayın politikasına uygun olarak, gönderilen çalışmalar editörler ve bilimsel hakem kurulunun kararına göre yayın programı içine alınacaktır. Dergi içinde makale, not, haber ve kitap başlıkları altında özgün makalelere, denizcilik arkeolojisi alanında yapılan kazı ve yüzey araştırmalarına, epigrafi alanında hazırlanan çalışmalara, kitap tanıtımlarına, bilimsel tartışma ve eleştiri yazılarına yer verilecektir. Yayınların Batı Avrupa dillerinden birinde (İngilizce, Almanca, Fransızca) kaleme alınmış olması gerekmektedir. Bu nedenle Türkçe’nin yanı sıra bu dillerde hazırlanmış olan makaleler de kabul edilecektir. Ancak dergi içindeki tüm bölümler iki dilde Türkçe ve İngilizce olarak yayınlanacaktır.

SÜRE

TINA Denizcilik Arkeolojisi Dergisi, Haziran ve Aralık aylarında yılda iki kez yayımlanır. Yayımlanması istenen makalelerin basım tarihinden en geç iki ay önce gönderilmiş olması gerekmektedir. Yazıların editör Mehmet Bezdan’a gönderilmesi gerekmektedir. **E-posta:** mehmetbezdan@gmail.com

TINA Denizcilik Arkeolojisi Dergisi’ne (bundan böyle “TINA” olarak anılacaktır) gönderilecek makaleler için aşağıdaki kurallar geçerlidir.

TINA’ya makale gönderen her yazar aşağıdaki koşulları kabul etmiş sayılır.

ÖZET VE ANAHTAR KELİMELE

Türkçe ve Yabancı dilde yazılmış birer özet ve her iki dilde altı adet anahtar kelime çalışmaya eklenmelidir.

YAZIM KURALLARI

Makaleler, Word dosyasında yazılmış olmalıdır.

Metin ve figürler 11 punto; özet, dipnot, katalog ve bibliyografya 9 punto olmak üzere Times New Roman harf karakteri kullanılmalıdır.

Dipnotlar her sayfanın altına verilmeli ve makalenin başından sonuna kadar sayısal süreklilik izlenmelidir.

Metin içinde bulunan ara başlıklarda küçük harf kullanılmalı ve koyu (bold) yazılmalıdır.

Noktalama işaretlerinde dikkat edilecek hususlar;

Metin içinde yer alan ‘fig.’ ibareleri, parantez içinde verilmeli; fig. ibaresinin noktasından sonra bir boşluk bırakılmalı (fig.1); ikiden fazla ardışık figür belirtiliyorsa iki rakam arasına boşluksuz tire konulmalı (fig. 3-5). Ardışık değilse, sayılar arasına nokta ve bir tab boşluk bırakılmalıdır. (5, 8, 14).

Bibliyografya ve kısaltmalar kısmında bir yazar, iki soyadı taşıyorsa soyadları arasında boşluk bırakmaksızın kısa tire kullanılmalıdır. (ÖZSOY-SADIK); bir makale birden fazla yazarlı ise her yazardan sonra bir boşluk, ardından uzun tire yine boşluktan sonra diğer yazarın soyadı gelmelidir. (ALTAN – ERCAN).

“Bibliyografya ve Kısaltmalar” bölümü makalenin sonunda yer almalı, dipnotlarda kullanılan kısaltmalar, burada açıklanmalıdır. Dipnotlarda kullanılan kaynaklar birden çok kullanılacaksa ilk kullanımda uzun, takip eden kullanımlarda kısaltma olarak verilmeli, kısaltmalarda yazar soyadı, yayın tarihi, sayfa (ve varsa levha ya da resim) sıralamasına sadık kalınmalıdır. Bibliyografya sıralaması soyadları kullanılarak alfabetik olarak yazılmalı. Ölü dillerden gelen kelimelerin italik olarak verilmesi gerekmektedir.

BİBLİYOGRAFYA (KİTAPLAR İÇİN):

Grenn, J., A Technical Handbokk, London 2004.

BİBLİYOGRAFYA (MAKALELER İÇİN):

Bass, G., Van Dorninck, F. H., ”A Fourth-Century Shipwreck at Yassı Ada”, AJA, Vol. 75, No. 1, January 1971, 27-37.

DİPNOT (KİTAPLAR İÇİN):

GREEN 2004, 19.

DİPNOT (MAKALELER İÇİN):

BASS – VAN DORRICK 1971, 32, Pl. 2, Fig. 8.

Tüm resim, çizim ve haritalar için sadece ‘‘fig.’’ kısaltılması kullanılmalı ve figürlerin numaralandırılmasında süreklilik olmalıdır. (Levha, Resim, Çizim, Şekil, Harita ya da başka ifade veya kısaltma kesinlikle kullanılmamalıdır).

Figürlerde çözünürlük en az 300 dpi; format ise RAW, TIF veya JPEG olmalıdır.

TINA’nın tablet ve sair formattaki versiyonları için fotoğraf değerleri 1024x768, video formatı ise mp4 olmalıdır. Bu değerleri sağlamayan fotoğraf ve videolar TINA tarafından yukarıda belirtilen formatlara dönüştürülecektir. Yazar/yazarlar bunu kabul etmiş sayılır.

Makale metninin sonunda figürler listesi yer almalıdır.

Metin yukarıda belirtilen formatlara uygun olmak kaydıyla özel sayılar hariç 15 sayfayı geçmemelidir.

YAYIN ETİĞİ:

TINA Denizcilik Arkeolojisi Dergisi’nde yayınlanan makalelerde ulusal ve uluslararası geçerli etik kurallarına uyulmalıdır. Bir başka kaynaktan alıntı yapılan figürlerin sorumluluğu yazara aittir. Bu nedenle kaynak belirtilmelidir.

YAYIN İLKELERİ

TINA, ‘‘Türkiye Sualtı Arkeolojisi Vakfı’’ tarafından (bundan böyle ‘‘Vakıf’’ olarak anılacaktır) yayınlanmakta olup, tüm yasal hakları Vakfa aittir.

TINA, başta Anadolu kıyıları ve Akdeniz olmak üzere dünyanın her köşesinde gerçekleştirilen denizcilik arkeolojisi alanında çalışmalara yer vermektedir.

TINA, Haziran ve Aralık aylarında olmak üzere yılda iki kez yayımlanır; Dergi yönetimi dilerse özel sayı çıkarabilir.

Yayınlanması istenen makalelerin en geç basım tarihinden üç ay önce gönderilmiş olması gerekmektedir. Makale ve figürler ayrı dosyalar halinde elektronik posta veya CD’ye yüklenerek kargo ile gönderilmelidir. Ayrıca makalenin basılı bir örneği de dosyada olmalıdır.

Yazardan düzeltme istenmesi durumunda, düzeltinin en geç 15 (on beş) gün içinde yapılarak, Dergi’ye iletilmesi gerekmektedir.

Makaleler Türkçe veya İngilizce yazılabilir.

Dergiye gönderilen ve yayınlanmayan makaleler, yazara iade edilmez.

Yazar, Vakfa ulaştığı tarihten itibaren iki sayı içinde yayınlanmayan çalışmaları başka dergi ve sair mecrada yayımlayabilir.

TINA’ya gönderilen makalelerin tüm yasal sorumluluğu yazara aittir.

MUVAFKATNAME

Yazar, TINA’da yayınlanmak üzere makalesini Vakfa göndermekle, Vakıf lehine;

Vakfa gönderdiği makalenin özgün olduğunu; daha evvel başka bir yerde yayınlanmadığını; makalenin üçüncü şahısların başta fikri haklar olmak üzere herhangi bir hakkını ihlal etmediğini; keza makale içinde kullanılan görsellerin üçüncü şahısların haklarını ihlal etmediğini; makaleyi TINA’da yayınlanmak üzere Vakfa göndermekle yazının TINA Denizcilik Arkeolojisi Dergisi içinde, basılı olarak ve/veya dijital herhangi bir ortamda (internet, mobil vb.) ortamda herhangi bir süre kısıtlaması bulunmadan yayınlanmasına, çoğaltılmasına, yayılmasına, saklanmasına, umuma iletilmesine izin verdiğini, ücretli ve/veya ücretsiz olarak üçüncü şahıslara kullandırılmasına muvafakatı olduğunu; Vakfa verdiği işbu haklar sebebiyle Vakıf’tan ve/veya bu hakları kullananlardan herhangi bir ücret ve/veya bedel talep etmeyeceğini; makalenin Türkçe ve/veya İngilizce’ye çevirebileceğini; Vakıf’ın makaleyi özel sayı ve sair şekillerde çıkaracağı sayı ve/veya yayınlar içinde kullanabileceğini; kabul, beyan ve taahhüt eder.

TINA’ya makale gönderen yazarlar, yukarıda yer alan “Yazım Kuralları”, “Yayın İlkeleri” ve “Muvafakatname” içinde yer alan düzenleme ve hükümleri kabul etmiş sayılırlar.

Herhangi bir sorunuz durumunda; mehmetbezdan@gmail.com adresine e-posta gönderebilirsiniz.

TINA MARITIME ARCHAEOLOGY PERIODICAL**MANUSCRIPT SUBMISSION REQUIREMENTS AND PUBLICATION GUIDELINES****OBJECTIVE AND SCOPE**

The TINA Maritime Archaeology Periodical aims to publish articles on original material obtained as a result of scientific studies, or original ideas in the field of Maritime Archaeology in various geographies of the world, mainly on the Anatolian shores and the Mediterranean Sea. Based on the publication policy of our periodical, the submitted articles will be included in the publication program according to the decision of the editors and the scientific referee board. The periodical shall contain original works of various articles, notes, news, and books, surveys and excavations performed in the field of maritime archaeology, epigraphic works, book presentations, scientific arguments and critics. The submissions should be written in a western European language (English, German, French). That means articles written in these languages, in addition to Turkish, are also acceptable. The periodical will be published in two languages, i.e., Turkish and English.

TIME

The TINA Maritime Archaeology Periodical is published biannually in June and December. The submissions should be sent at least two months before the publication date. All written material should be sent to the attention of Mehmet Bezdán, Editor in Chief. **E-mail address:** mehmetbezdán@gmail.com

Below please find the requirements for manuscripts that will be submitted to TINA Maritime Archaeology Periodical (to be referred to as TINA from now on) for publishing.

Any author submitting a manuscript will be considered to have agreed to the following terms and conditions

ABSTRACT AND KEYWORDS

An abstract and six keywords written both in Turkish and in source language should accompany the original work.

MANUSCRIPT FORMAT

All manuscript texts should be written in Word format.

The font size is 11 points for texts and figures; and 9 points for abstracts, footnotes, catalog and bibliography, and the font type is Times New Roman.

Footnotes should be numbered in the order in which they appear in the text, and be placed at the bottom of each page, with numerical continuity followed throughout the paper.

Subtitles within the text should be in lower case letters, in bold characters.

Use of punctuation marks:

Any figures referred to within the text should be cited within parentheses as (fig. 1); a space should be placed between “fig.” and the number to follow; if more than one consecutive figure is referred to, then a dash should be placed between the two numbers without a space (e.g., fig. 3-5). If the figures are not consecutive, then a comma and a space should be placed after each number except the last one (e.g., fig. 5, 8, 14).

In the bibliography and abbreviations section, if the author has two last names, a dash should be placed between the two names without a space (e.g., ÖZSOY-SADIK); if an article has multiple authors, a space, a dash, then a space again should be placed after each name, and then the other surname should follow (e.g., ALTAN – ER-CAN).

“Bibliography and Abbreviations” section should be placed at the end of the manuscript, and the abbreviations used in footnotes should be explained here. A full citation should be provided the first time a reference is made to a source, and then an abbreviated form should be used when the same source is cited again, maintaining the order of author’s name, date of publication, and page (and plate or picture if applicable). Bibliography should be listed fully in alphabetical order by the surname. Words originating from extinct languages should be written in italic form.

Bibliography (for books):

Green, J., *A Technical Handbook*, London 2004.

Bibliography (for manuscripts):

Bass, G., Van Doorninck, F. H., "A Fourth-Century Shipwreck at Yassı Ada", *AJA*, Vol. 75, No. 1, January 1971, 27-37.

Footnote (for books):

GREEN 2004, 19.

Footnote (for manuscripts):

BASS – VAN DOORNICK 1971, 32, Pl. 2, Fig. 8.

Any images, drawings, and maps should be presented as figures, and numbered in the order in which they appear in the text (descriptions such as Plate, Picture, Drawing, Diagram, Map, etc. and their abbreviations should never be used).

Figures should have at least 300 dpi of resolution, provided in RAW, TIF or JPEG format.

For tablet and other versions of the TINA magazine, photographs should be provided in 1024x768 format, and videos in mp4 format. Any photograph and video material that do not meet above mentioned criteria will be converted into the required format by TINA. The author(s) shall be deemed to have accepted it.

Manuscripts should be accompanied by a list of figures following the main text.

The text should not exceed 15 pages, except for special issues, provided that they are submitted according to the above mentioned formats.

PUBLICATION ETHICS STATEMENT:

All articles published in the TINA Maritime Archaeology Periodical shall abide by and respect the national and international ethical rules. The responsibility of the figures from another source belongs to the writer. Therefore, the sources should be specified.

PUBLICATION GUIDELINES

TINA MARITIME ARCHAEOLOGY PERIODICAL is published by TINA, "The Turkish Foundation for Underwater Archaeology" (to be referred to as "The Foundation" from now on), and all its legal rights belong to the Foundation.

TINA MARITIME ARCHAEOLOGY PERIODICAL covers research on maritime archaeology from across the world, mainly on the Anatolian and Mediterranean coasts.

TINA MARITIME ARCHAEOLOGY PERIODICAL is published biannually, in June and in December; TINA's management may publish special issues if they choose to do so.

Manuscripts should be sent at least three months before the publication date. The manuscript text and figures should be uploaded in separate folders, and sent by e-mail or written to a CD and sent by a courier service. A printed version of the manuscript should also accompany the submission. If any revision is requested from the author, such revisions should be completed and resubmitted to TINA within maximum 15 (fifteen) days.

Manuscripts may be in Turkish or English.

Any manuscript submitted to TINA MARITIME ARCHAEOLOGY PERIODICAL, but not published will not be returned to the author.

The author may have his/her manuscript published in another publication if it is not published in two subsequent issues from the date of receipt of the manuscript by the Foundation.

All legal responsibilities of the manuscripts submitted to TINA MARITIME ARCHAEOLOGY PERIODICAL belong to the author.

LETTER OF CONSENT

By submitting his/her manuscript to the Foundation, the author hereby

agrees, declares and undertakes that the manuscript submitted to the Foundation is genuine, and it has not been published in another publication; it does not violate the rights, mainly immaterial rights of third parties; also the images used in the manuscript do not violate the rights of third parties; the manuscript can be published, reproduced, distributed, archived, and made public through TINA Maritime Archaeology Periodical, either by printing and/or through digital media (internet, mobile etc.) without any limitation in time, used by third parties with or without payment; he/she shall not claim any fees and/or charges from the Foundation or any beneficiary of these rights; the manuscript may be translated to or from Turkish or English; and the Foundation may publish the article in special issues or otherwise, may use it in issues and/or other publications.

Authors who submit articles to TINA MARITIME ARCHAEOLOGY PERIODICAL are deemed to have accepted the terms and conditions mentioned above under sections “Manuscript Format”, “Publication Guidelines” and “Letter of Consent”.

If you have any questions, please send an e-mail to mehmetbezdan@gmail.com.



TINA

Denizcilik Arkeolojisi Dergisi
Maritime Archaeology Periodical