

## *Maasi laeva „kollane“ – kas Vasa needus või redoksreaktsioonid?*

Jüri Peets

TLÜ Ajaloo Instituut, Rüütli 6, Tallinn

[jyri.peets@ai.ee](mailto:jyri.peets@ai.ee)

Maasi laev ehk nn Maasilinna vrakk on oma nime saanud Saaremaal Väikese väina kaldal asuva keskaegse Soneburgi ehk Maasilinna ordulossi varemete järgi, mille lähedasest abajast laevajäänused leiti. Juba varem kalurite poolt täheldatud põhjamudast turrituvad palgiotsad, mida peeti lossiaegse sadama tugipostideks, osutusid täpsemal uurimisel tulekahju tagajärjel uppunud vana puulaeva kaarteks. Paksu mudaga kaetud vraki avastasid 1985. aastal toimunud allveeuuringute käigus Eesti Meremuuseumi allveeklubi „Viikar“ sukeldujad umbes 3 m sügavuselt. Edasiste uuringute käigus selgus, et tegemist on keskaegse sadama lähedal (u 370 m kaugusel tänapäevasest rannast) ankrus seisnud ja ilmselt põlengu tagajärjel uppunud 16. sajandist pärineva laevaga (1). Algselt umbes 15–16 m pikkusest ja 6 m laiusest laevast oli säilinud umbes viiendik selle süvisejoonest madalamal asunud osast. Veepealsetest konstruktsioonidest ja taglasest polnud laevale saatuslikuks saanud tulekahju peaaegu midagi alles jättnud (2). Kuna uurimistöödega eemaldati suur osa seni vrakki kahjustavate välismõjutuste eest kaitsnud, eelkõige hapniku juurdepääsu pärssinud savikast mudakihist, kiirenes puidu kõdunemisprotsess ning vrakk oli sattunud hävimisohtu, mistõttu otsustati see kaldale tuua (3). Ülejäänud probleemid loodeti lahendada tööde käigus. Maasilinna vraki tulevik tundus uutmisaja mentaliteedile vastavalt väga roosiline ja ka kõige pessimistlikumad ei osanud arvata, et oli alanud praeguseks ligi 30 aastat kestnud protsess, millest olulise osa moodustavad jätkuvalt laevajäänuste konserveerimise ja säilitamisega (eksponeerimisega) seotud küsimused.

### **Maasilinna vraki konserveerimisest**

Maasilinna vraki konserveerimistööd algasid 1987. aasta augustis pärast selle veealuste uurimistööde lõpetamist, väljapuhastamist savikast põhjamudast ning kaldaletoomist (3). Laevajäänuste konserveerimiseks otsustati kasutada seni veel vaid laboritingimustes katsetatud normaalarõhul läbiviidavat sublimatsioonil põhinevat meetodikat, mis töötati välja TA Ajaloo Instituudis (4, 5). Kuigi juba 1970. aastate lõpul tehti mitmel pool maailmas esimesi katseid orgaanilisest aineist arheoloogiliste leidude konserveerimiseks sublimatsioonimeetodil, kasutades

selleks laboratoorseid vaakumkülmkuivateid-sublimaatoreid ehk lüofilisaatoreid (*freeze dryer*), oli see meetod toona praktiliselt tundmatu. Ühena esimestest tutvustas uut vettinud puidu konserveerimismeetodit Masaaki Sawada Tokio Rahvusliku Kultuuripärandi Uurimisinstituudist (*Tokyo National Research Institute of Cultural Properties*), kes esines vastavate ettekannetega 1977. aastal ICOM-i kultuuriväärtuste konserveerimisalasel sümposiumil (*ICOM Committee Conservation and Restoration of Cultural Property*) Tokios ja 1981. aastal ICOM-i konserveerimise komitee (*ICOM-CC Committee for Conservation*) Ottawa konverentsil (6, 7, 8). Kuna suurem osa vettinud arheoloogilisest puidust esemeid konserveeriti sel ajal mitmesuguste immutusmeetoditega, millest soosituimad olid mitmetes suurprojektides kesk- ja vara-uusaegsete laevavrakkide konserveerimisel edukalt rakendatud erineva molekulmassiga polüetüleenglükooliga (PEG) impregneerimisel põhinevad meetodid – nt Rootsi kuningliku sõjalaeva *Vasa*, keskaegse nn Bremeni koge, Skuldevi (Roskilde) viikingilaevade, 1629. aastal Austraalia läänerannikul uppunud Hollandi Ida-India Kompanii lipulaeva *Batavia* jäänused jt (9) – jäi uus meetod esialgu suurema tähelepanuta.

Ajaloo Instituudis alustati sublimeerimisel põhinevate meetodite katsetusi 1980. aastate alguses, kui avanes juurdepääs TA Keemia Instituudi biokeemia laboratooriumis mitmesuguste biokeemiliste eksperimentide ettevalmistamiseks kasutatud vaakum-külmkuivatusseadmetele (*freeze dryer*).

Uudsel meetodil konserveeriti mõned arheoloogilised puidunäidised, puitesemed ja nahkjalatsikatked (4). Idee kasutada vettinud puidu stabiliseerimiseks sublimatsiooni normaalarhul pärines (lisaks igatalvistele ja külmkapi kasutamise kaasnemetele empiirilistele kogemustele) ICOM-i 1981. aasta Ottawa konverentsil esitatud ettekandest. Selles tutvustati sublimeerimismeetodit, mis põhines Põhja-Kanadale iseloomulike pikalt püsivate talvekülmade ärakasutamisel. Näitena tutvustati edukalt kulgenud suure, ühest tüvest tahatud indiaanipaadi konserveerimist talvel vabas õhus (uurimisinstituudi katusel) ja selle käigus tehtud tähelepanekuid (10, 11).

Külmkuivatusel põhineva konserveerimisprotsessi käigus eemaldatakse vesi eelnevalt pindaktiivse täiteaine ja stabiliseeriva komponendiga (nt madala molekulmassiga PEG) küllastatud vettinud puidust külmutatult, st kuivamine toimub jää aurustamisega. Jää aurustumisel ehk sublimatsioonil (sublimatsioon – aine üleminek tahkest olekust gaasilisse) on materjali kokkutõmbumine oluliselt väiksem kui vesimärja vettinud puidu kuivamisel õhu käes (4, 8). Kuna olime juba varem edukalt katsetanud eelnevalt PEG 200 lahusega immutatud väiksemate puit- ja nahkesemete konserveerimist labori sügavkülmikus, julgusin meetodit soovitada ka Maasilinna vraki konserveerimiseks, sest kunstliku „kanada või siberi talve“ tekitamine laevajäänuseid mahutava sügavkülmiku ehitamise näol pidi 20. sajandi lõpul olema ju võimalik. Ja mis kõige tähtsam –

kuidagimoodi õnnestus hankida vajalik kogus madala molekulmassiga polüeteenglükooli – PEG 1200!

Arvestades nõukogude aja lõpul kasutada olnud võimalusi, vahendeid ja praktiliselt kõigi ehitusmaterjalide uskumatut defitsiiti, ehitati konserveerimisprotsessi läbiviimiseks vajalik nõuetekohane hoone väga kiiresti ja korralikult (ill 1). Hoone põranda moodustas monoliitne betoonplatvorm, millesse müüriti valamistöö käigus ka vrakki toetava terastorudest alusraami kandejalad. Laevajäänuste hoonesse paigaldamisega probleeme ei tekkinud, kuna selle seinad ja katus ehitati juba omale kohale tõstetud ja raamile paigaldatud vraki ümber. Kuigi esialgseid puitraamile kinnitatud eterniitplaatidest ja isolatsioonmaterjalist vahekihiga topeltseinu täiendati mõne aja pärast termoisolatsiooniomadusi parandanud vahtbetoonplokkidest müüridega, jäi hoone sisekliima siiski suuresti sõltuvaks välistest ilmastikuoludest. Sublimatsiooniprotsessiks vajaliku stabiilse madala temperatuuri (vähemalt  $-25^{\circ}\text{C}$ ) pidid tagama kaks suure võimsusega külmutusseadet. Vrakiosade immutamine PEG 1200 20% vesilahusega, millele oli lisatud umbes 20 mahu% etanooli, algas 1987. aasta sügisel. Töö toimus käsipritsi abil, millega vrakiosi kasteti mitu korda ööpäevas. 1988. aasta oktoobriks näitasid kontrollkehana kasutatud, vrakist pärineva irdlaua ristlõike uuringud, et PEG-lahus oli imunud piisavalt sügavale puitu, mistõttu võis alustada konserveerimistöõde järgmise etapiga – laevajäänuste külmuivatamisega. Sublimatsiooniprotsess kestis kuni 1990. aasta jaanuarini, mil võis konstateerida suurema osa niiskuse (vee) eraldumist puidust (5, 12, 13). Algselt vaid paar külma talve- ja kevadkuud vältama pidanud vrakipuidu aeglane järelkuivamine ja stabiliseerumine venis aga mitmesuguste asjaolude kuhjumise tõttu oluliselt pikemaks. Seetõttu hoiti pärast üldjoontes edukalt kulgenud konserveerimis- ja stabiliseerumisprotsessi laevavrakki ekspositsioonivõimaluste ootel peaaegu 25 aastat konserveerimishoones – kuni 2010. aasta sügiseni, mil see toimetati Tallinnasse ja see leidis lõpuks endale väärrika koha Eesti Meremuuseumi Lennusadama ekspositsioonis (ill 2, 3).

Hoolimata sellest, et Maasilinna vraki üldine seisund näis pärast konserveerimis- ja stabiliseerumisprotsessi olevat veel mitme aasta möödudeski hea – hallitust ja puitdetailide deformatsioone ning kokkutõmbumise ilminguid polnud märgata, hakati siiski umbes 10 aastat pärast konserveerimistöõde lõpetamist täheldama laeva puitosadel heledamaid moodustisi, mis ilmusid raud-detailide roostetamistel tekkinud pruunikate roostelaikude ümbrusse ja servadesse või koguni nende peale. Kuna hallitust ei täheldatud – kuigi hoiuruumi mikrokliimat arvestades ei saanud seda välistada – oletati puitu jäänud soolade väljakristalliseerumist. Et tegemist on vrakipuidus juba toimunud või toimuvate hoopis keerulisemate biokeemiliste protsesside ja

erinevate ainete vaheliste redoksreaktsioonide ilmingutega, ei osanud keegi arvata. Uue aastatuhande alguseks oli Maasi laev muutunud nii asjast huvitatud üldsuse kui ka spetsialistide jaoks kuidagi nähtamatuks – teaduslikud uuringud olid justkui tehtud, luitunud ja päevinäinud hall konserveerimishoone Illiklaiul põlistunud aga n-õ merendusliku kultuurmaastiku elemendiks (1) (ill 4). Esialgsed plaanid ja otsingud kuulsale leiule püsiva, pikaajaliseks säilitamiseks ja eksponeerimiseks sobiva hoiukoha leidmiseks Saaremaal ei teostunud ning laevale „ankrupaiga“ rajamise kava hakkas kuju võtma alles seoses Lennusadama kompleksi renoveerimise ja väljaehitamisega Meremuuseumi filiaaliks (14, 15).

Võimalik, et just selle plaani ettevalmistustööde käigus avastati ka heledad soolalaigud vrakidetailidel. Maasi laeva saatuse pärast hakati aga tõsiselt häirekella lööma 2000. aastal, seoses maailmakuulsa *Vasa* laeva kriitilisse seisundisse sattumise ümber puhkenud meediakäruga (esialgu ei välistatud isegi laeva teistkordset, nüüd juba lõplikku hävimist). 2005. aasta märtsis käis Maasilinna vraki seisundit uurimas Muinsuskaitseameti, Meremuuseumi ja Ajaloo Instituudi spetsialistide komisjon, kes tõdes kohapeal eheda väävli ja mitmesuguste soolade väljakristalliseerumist, kuigi vraki üldseisund loeti heaks (16). Kuna selleks ajaks olid *Vasa* laevaga toimunud protsesside põhjused ja nende mõju muistisele üldjoontes juba välja selgitatud, võis ilmselgelt samade sümptomite olemasolul oletada midagi sarnast ka Maasi laeva puhul. Mida see vraki säiluvuse seisukohalt aga tegelikult tähendada võiks, jäi üksikküsimustes veel ebaselgeks.

### **Millenniumi kingitus konservatoritele – *Vasa* „sündmus“ ja selle järelmid**

1990. aastatel hakati juba muuseumis eksponeeritava, kuid ikka veel konserveerijate poolt kontrollitud kuivamis- ehk stabiliseerumisjärgus oleva *Vasa* laeva puitosadel ja lahtistel esemetel täheldama heledamaid laike (17, 18, 19). Need osutusid kuivamisega puidu sisemusest pinnale tõusnud mitmesuguste soolade kogumiteks (sulfaadid, sulfiidid, kloriidid jms), mida peeti pikalt merevees olnud puidu stabiliseerumisprotsessi paratamatuks osaks ning millele seetõttu erilist tähelepanu ei pööratud. Veel 2001. aastal ilmunud *Vasa* laeva avastamis- ja konserveerimislugu käsitlevas mahukas kokkuvõttes peeti laeva seisukorda igati rahuldavaks (20). Pärast eriti vihmast 2000. aasta suve, mil muuseumi ekspositsiooniruumi õhuniiskus (RH) oli kliimaseadmete rikke tõttu pikema aja jooksul soovitatavast (50–60%) (21)) tunduvalt kõrgem – , muutus olukord murettekitavaks – ekspositsioonis seisva laeva enam kui 1000-tonnilise staatilise surve ja puidu mehaanilise tugevuse vähenemise tõttu hakkasid laevadetailid üksteise suhtes nihkuma, lihtsamalt öeldes – kuulsat laeva ähvardas kokkuvajumine. Samal ajal kattusid puitosade pinnad suures ulatuses heledate soolavohandite ja kollakate laikudega, milles tuvastati hüdraatunud sulfaate

(peamiselt raudsulfaat ja kips), sulfiide ja ehedat väävlit (17, 18, 19). Jõuti järeldusele, et meremuda anaeroobsetes tingimustes sulfaatsooladest väävlilbakterite elutegevuse tulemusena tekkinud sulfiidid olid konserveerimisprosessi käigus oksüdeerunud väävelhappeks, mille agressiivne olemus hakkas 2000. aasta suvel ekspositsioonihooone ülisuure suhtelise niiskuse tõttu nähtavaks saama. Selle toimetel algas puidutselluloosi kiire hüdrolüütiline lagunemine koos puidu mehaanilise tugevuse vähenemisega (19). Pärast uurimisrühma töö tulemuste avalikustamist ilmus toimunu kohta tohtu hulk igasuguseid arvamusalvaid ja spekulatsioonid, milles otsiti ja leiti tõelisi ja kujuteldavaid süüdlasi nii elus kui ka eluta looduse hulgas. Elusat loodust esindasid loomulikult konservatorid, eluta loodust aga oletatav peasüüdlane – PEG. Loomulikult võtsid sõna ka erialaspetsialistid, kuid esialgu ei olnud ka neil midagi rõõmustavat teatada. Asjaolud nõudsid põhjalikku juurdlust koos toimunu teadusliku analüüsiga.

Olukorra tõsidust arvestades algatati 2003. aasta alguses Rootsi Meremuuseumi (*Statens Maritima Museer*) eestvõttel ja mainekate sponsorite helde finantstoetusega kolmeks aastaks kavandatud rahvusvaheline uurimisprojekt „Säilitage Vasa“ (*Preserve the Vasa Project*). Projekti eesmärgiks oli Vasa laevaga toimunu igakülgne uurimine ja kahjustuste iseloomu ning ulatuse väljaselgitamine. Püstitati rida tööülesandeid, millega hakkasid probleemide spetsiifikast lähtudes tegelema erinevate ülikoolide ja teadusasutuste parimatest erialaspetsialistidest koosnevad, enamasti rahvusvahelised tööühmad (22). Samal ajal olid mitmel pool Euroopas ja mujal maailmas Vasa projektiga sarnased suured ettevõtmised kas äsja lõppenud või oli merest tõstetud laevajäänuste konserveerimisega juba alustatud ja jõutud selle erinevatesse järkudesse, mistõttu Vasa probleemid olid eriti aktuaalsed (9). Nii oli 2000. aastal Saksamaal Bremenis edukalt lõpetatud 1962. aastal sadama laiendustööde käigus Weseri jõe setetest leitud kogejäänuste konserveerimine (23); Inglismaal Portsmouthi sadama kuivdokis oli 1994. aastal alustatud 1554. aastal uppunud Henri VIII sõjalaeva *Mary Rose* konserveerimistöödega (9). Peale selle sõltus raporti tulemustest mitmete alles kavandamisjärgus olevate sellesuunaliste projektide edasine saatus. Ka Eestis oli mõned aastad enne Vasa „sünnimüsi“ lõpetatud Maasi laeva ja Pärnust leitud kogejäänuste konserveerimine (12). Seetõttu on mõistetav, et huvi „Säilitage Vasa“ projekti kajastavate artiklite ja vahearuanete vastu oli väga suur. Kuigi projekti lõpparuanne valmis 2006. aasta lõpuks ja avaldati kohe Riikliku Meremuuseumi eriväljaandena (22), pole uurimis- ja konserveerimistööd kaugelki mitte lõppenud ning projekt „Säilitage Vasa“ sisuliselt jätkub ning sellega seotud nn „Vasa-klubi“ liikmete arv kasvab (24). Eestis hoiab veealuste objektidega (ka konserveerimisega) tegelejate meeli ärsana 2015. aasta keskaegsete laevajäänuste leid Tallinnas Kadrioru rannapiirkonna uues elamurajoonis (nn „Tivoli“ koge).

## **Vrakistumisega kaasnev ühisosa laevajäänuste konserveerimisprobleemistikus**

Maasilinna vraki kahjustuste ning konserveerimise ja säilitamisega seotud probleemistik on ootuspäraselt väga sarnane teiste Euroopa põhjaosa keskaegsete laevaleidude omaga. Kuigi vaadeldavad laevajäänused erinevad üksteisest säilinud osa suuruse, füüsilise seisundi ja ajaloolise tausta poolest, on neil samal ajal väga palju ühist. Ajalooürikutes kõrgele kiidetud ja taganutetud kuningalaevade ja anonüümsete laevajäänuste peamiseks ühisosaks on vesine keskkond, millest „inimlik uudishimu“ või „olude sund“ nad välja tõstis, kandes sellega tahes-tahtmatult vastutuse kõigi võimalike tagajärgede eest üle looduselt inimekätte. Sõltumata sellest kas vrakk sattus õhu kätte ettekavandatult või juhuslikult veealuste tööde käigus, tekib kohe vajadus luua leiu edasist säilimist tagav stabiilne keskkond, mis annaks ajapikendust järgnevateks väga pikaajalisteks ja kalliteks konserveerimistöödeks. Järgmise vesisest keskkonnast pärit laevaleidude ühisosa moodustavadki nende konserveerimisega seotud probleemid, alates konserveerimismeetodite valikust kuni püsiva säilitamis-, eksponeerimis- ja uurimiskeskonna loomiseni. Kolmanda, laevaleidudega alati kaasneva suure probleemideringi moodustavad laevajäänustel juba enne leidmist looduskeskkonnas või leidmisjärgsel käitlemisel, sh konserveerimise käigus, tekkinud kahjustuste väljaselgitamine ja võimaluse korral nende vältimine. Kui leidmisjärgsete inimtegevusest põhjustatud mehaaniliste kahjustuste (sh leiu kuivamiskahjustused teisaldusprotsessi käigus) tekkimise võimalust kaalutakse hoolikalt ja neid on võimalik teatud tööoperatsioonidega vältida või minimeerida, siis looduskeskkonnas aset leidnud erineva kestvusega keemiliste ja biokeemiliste protsesside tagajärjed võivad olla hoopis tõsisemad. Kuna tihti on n-ö „loodusandide“ täielik kõrvaldamine väga raske, mõnikord lausa võimatu, tuleb konservatoritel sageli piirduda vaid kahjustuse olemasolu konstateerimise ja edasisi kahjustumisprotsesse pärssivate konserveerimisvahendite kasutamise ja laevajäänustele pikaajaliseks säilitamiseks sobiva mikrokliima loomisega. Kõige tähtsama ühisosa moodustavad aga veesõidukite vrakistumise ja n-ö „päästmisega“ paratamatult kaasnevad füüsikalised, keemilised ja biokeemilised protsessid.

## **Ümbritseva keskkonna muutumisega kaasnevad protsessid**

Kõik inimese poolt loodu on selle valmimise hetkest alates allutatud ümbritsevast keskkonnast johtuvatele mõjutustele. Tahketest materjalidest veesõidukid on mõeldud toimima duaalses ehk kaheses ümbruses, st üheaegselt kahes erineva füüsikalise agregaatoleku ja keemilise koostisega keskkonnas – vedelas (vesi) ja gaasilises (õhk). Kuigi keskkondade füüsikalised omadused on suuresti erinevad, on ainult keskkondade agregaatolekust tulenev mõju veesõidukite materjalides toimuvatele keemilistele ja biokeemilistele protsessidele väike. Aktiivse kasutuse perioodil jäävad materjalides inimtegevuse kaasabil (metalloosade puhastamine ja õlitamine, puidust ja muust

orgaanilisest materjalist detailide tõrvamine jms) domineerima õhukeskkonnas toimuvate ilmingutega (pindmine korrosioon, mehaaniline kulumine, kuivamiskahjustused, seenkahjustused jms) kaasnevad protsessid. Samal ajal algab veesõiduki puitdetailide aeglane vettimine ja sooldumine, st erinevate soolade ladestumine puidu sisestruktuuridesse ning puidusiseste metallosade (laevaneedid, -naelad jms) elektrokeemiline korrosioon.

## **Vrakimaterjalidega primaarses aeroobses (hapnikurikkas) keskkonnas toimuvad muutused**

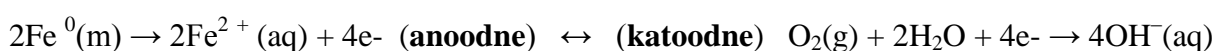
### ***Puiduga toimuvad protsessid***

Pärast aluse uppumist asendub senine duaalne keskkond vaid vedelast komponendist koosneva veekeskkonnaga. Veesõiduki tahkete osistega toimuvad protsessid jäävad üldjoontes samadeks aeroobses ümbruses toimunutega, kuid nüüd kaasnevad nendega veekeskkonnas (vesilahustes) toimuvate protsesside ilmingud. Mõne aasta jooksul veesõiduki puitosad vettivad, st puidustruktuurid küllastuvad veega ja materjal kaotab ujuvuse. Merevees toimub koos vettimisega puidu sooldumine, sh sulfaatamine (rikastumine sulfaatioonidega ( $\text{SO}_4^{2-}$ )), mille käigus ühtlustub puidu ning ümbritseva keskkonna soolade sisaldus. Lõpeb aluse **vrakistumise esimene etapp**, laeva taastamisvõimalused muutuvad küsitavaks. Samal ajal algab puidutselluloosi kiire happeline hüdrolüüsumine ning bakteriaalne lagunemine; puidu pealispinnal lagundavad bakterid ensüümide abil ka ligniini ja hemitselluloosi. Madalas ja hapnikurikkas riim- ja magevees lagundavad koos bakteritega puitu ka mitmesugused seened ja saproobid (25, 26). Tselluloosi molekulaarstruktuur ei ole korrapärane, vaid selle fibrillides (kiu osis, mis koosneb tselluloosimolekulidest) vahelduvad korrapärase struktuuriga kristallilised piirkonnad, kus tselluloosi molekulid asetsevad paralleelselt ja on omavahel vesiniksidemetega tugevasti seotud, korrapäratult paiknevatest molekulidest koosnevate amorfsete piirkondadega, millest hüdrolüüsumine enamasti algabki. Hüdrolüüsi käigus väheneb esmalt molekulidevaheliste vesiniksidemete hulk, millele järgneb tselluloosi polüsahhariidsete molekuliahelate katkemine ja lagunemine algühikuteks ehk  $\beta$ -glükoosi hüdrolüüsivõimelisteks komponentideks (radikaalne jääk,  $\text{R}\cdot$ ). Hüdrolüüsi soodustavad keskkonna kõrge happesus (madal pH tase) ja bakterite ning mikrosete elutegevusega kaasnevad ensüümid. Hüdrolüüsunud sahhariidid võivad olla kaasatud orgaaniliste ja anorgaaniliste radikaalide manulusel toimuvatesse ning biokatalüüsitud keemilistesse reaktsioonidesse. Tselluloosi hüdrolüüs on esimene etapp lagunemisprotsessis, mille tulemuseks on puidu degradatsiooniga kaasnev mehaanilise tugevuse vähenemine. Hüdrolüüsiga alanud protsessid jätkuvad kuni puidu täieliku hävimiseni. Aeroobses keskkonnas on puidutselluloosi hüdrolüütilisse lagunemisse kaasatud ka vees lahustunud hapnik, mis käivitab materjalis oksüdatiivsed lagunemisprotsessid, sh ka nn

**Fenton tüüpi reaktsioonid.** Nimetatud reaktsioonides tekivad raudioonide ( $\text{Fe}^{2+}$ ) manulusel kõrge reaktsioonivõimega hüdroksüülradikaalid ( $\bullet\text{OH}$ ) ja puidupolümeeride väiksemate osiste radikaalrühmad ( $\text{R-H}\rightarrow\text{R}\bullet$ ), mis on võimelised reageerima enamuse orgaaniliste ainete molekulidega (19, 27, 28).

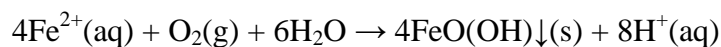
***Raua ja rauaühenditega aeroobses elektrolüüdi (looduslik vesi) keskkonnas toimuvad protsessid***

Laevahukule järgneva mõnekümne aasta möödudes hävivad elektrokeemiliste protsessid käigus laeva raudosad. Kuna ka rauddetailide korrodeerumine toimub vees lahustunud õhu koostises olevaid gaasilisi aineid ( $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{CO}_2$  jt) sisaldavas hapnikurikkas elektrolüüdi keskkonnas (vees lahustunud soolad; merevees peamiselt  $\text{NaCl}$ ), tekib nende pealispinnale ja ümbritsevale puidupinnale raud(III)oksiidhüdraadi laike ja kogumeid. Tekkinud roostekogumeid ehk konkreetsioone võib kirjeldada üldvalemiga  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ . Selle koostisse kuuluvad erinevat tüüpi raudoksühüdrosiidid –  $\alpha$ -,  $\beta$ - ja  $\gamma$ - $\text{FeO}(\text{OH})$ , vastavalt, götiit, akaganeit ja lepidokrokiit, mis on ka rauamaakide koostisosad. Raudesemetest tekkinud korrosiooniproduktide konkreetsioonid on tavaliselt mitmekihilise struktuuriga. Välimise kihi moodustavad korrosiooniproduktidega (põhiliselt raud(III)ühendid, enamasti götiit) kokkuliidetud ja läbiimbunud erinevate materjalide segu – väikesed kivid, liiv, savi, puutükid, veeloomade jäänused jms. Mõnikord võib pealmistes kihtides olla lubikoorikut või kaltsiidilaike ( $\text{CaCO}_3$ ). Kõige all paikneb madalama oksüdatsiooniastmega raua korrosiooniproduktidest, tavaliselt magnetiidist ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) ja tumedat värvi raud(II)hüdrosüühenditest koosnev kiht, mis säilitab eseme kuju ka siis, kui metall on täielikult hävinud. Eseme raudosa täieliku hävimise korral moodustub selle pealiskihi piirjooni järgiv erineva paksusega, peamiselt tumedast magnetiidist koosnev koorik, mille sees on tavaliselt väga peene lõimiseega erinevat värvi raud(III)oksiidhüdraadist koosnev ooker ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ). Enamik ümbritsevast keskkonnast pärinevaid või korrosioonireaktsioonide käigus tekkinud ionidest ja väljasadenenud ainest, sh ka  $\text{Fe}^{2+}$  ioonid ja kloriid- ning sulfaatioonid, paiknevad korrosioonikonkreetsioonide pealmiste kihtide poorides ja mikrotühimikes (29). Raua korrosioonil toimuvaid elektrokeemilisi protsesse saab kirjeldada anoodsete ja katoodsete osareaktsioonide abil. Anoodse reaktsiooni käigus loovutab metalne (m) raud kaks elektroni ( $e^-$ ) ja siirdub lahusesse (lahustub); katoodse reaktsiooniga liidavad vees lahustunud gaasiline (g) hapnik ja vesi (aq) elektrone ning moodustavad hüdroksiidioone vastavalt reaktsioonivõrranditele:

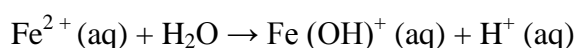




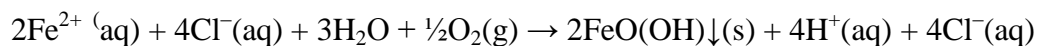
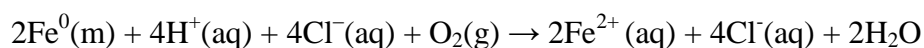
Reaktsioonide tulemusena moodustub raud(II)hüdrosiid, mis võib edasi oksüdeeruda ja moodustada vees lahustunud hapnikuga reageerides stabiilsemaid raud(III)ühendeid, nagu raudhüdrosiid  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  või raudoksühüdrosiide  $\text{FeO}(\text{OH})$ , mis sadenevad (s) metalli pinnale:



Samal ajal võib osa raua pinnal akumulunud  $\text{Fe}^{2+}$  ionidest hüdrolüüsuda, moodustades keemiliselt aktiivse  $\text{Fe}(\text{OH})^+$ -iooni ja vesinikiooni, ning põhjustada lokaalset hapestumist:



Nende reaktsioonide tulemusena tõuseb metalli pinnale sadenenud korrosiooniproductide all keskkonna happesus ja vesinikioonide ning vees olevatest kloriidioonidest moodustunud vesinikkloriidi ehk soolhappe ( $\text{HCl}$ ) toimel raua korrodeerumine kiireneb, jätkudes metalse raua täieliku hävimiseni (27, 29):

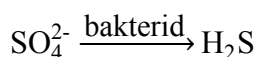


Raua korrodeerumisel tekkinud raud(III)hüdrosü-ühendid on enamasti vees halvasti lahustuvad ja moodustavad raudesemetele ja nende ümbrusse urbseid korrosiooniproductide kogumeid, mis stabiilsena püsivas keskkonnas keemiliselt enam ei muutu, st raud on muutunud taas lähtemineraaliks ehk maagiks. Samaaegselt vrakimaterjaliga märjas aeroobses keskkonnas toimuvate protsessidega toimub laevajäänuste aeglane mattumine oma raskuse tõttu üha tihenevatesse setetes, millega kaasneb vrakiosadega vahetus kontaktis oleva mikrokeskkonna anaeroobseks ehk hapnikuvaeseks muutumine. Mikroorganismide elutegevuse, orgaanilise aine lagunemise ja väliskeskkonna inimtekkelise saastatuse tagajärjel koguneb setetes vävliühendeid, eriti vesinik- ja raudsulfiide, millest osa talletub vrakipuidus (28).

### ***Vrakimaterjalidega anaeroobses (hapnikuvaeses) keskkonnas toimuvad muutused***

Umbes saja aastaga kattub suur osa uppunud veesõidukist piisavalt paksu ja tiheda setetekihiga, mis isoleerib laevaosad senisest hapnikurikkast keskkonnast. Settimiskiirus sõltub loomulikult veekogu ja selle konkreetse osa hüdro- ja ökoloogilistest iseärasustest ja seisundist. Mattumise tulemusel

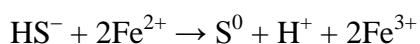
kujuneb vraki ümber uus keskkond, mille peamiseks erisuseks on vees lahustunud gaasilise hapniku peaaegu täielik puudumine. Koos anaeroobse keskkonna väljakujunemise ja enamiku raudesemete hävimisega lõpeb **vrakistumise teine etapp ehk veesõiduki aeroobne faas ning algab vrakistumise kolmas etapp ehk veesõiduki anaeroobne faas**. Tekkinud anaeroobne keskkond pole enam sobiv suuremale osale seni puidu lagundamisest elatunud eluvormidele – selgrootud, seened, aeroobsed bakterid jt, kelle asemele tulevad anaeroobsetele tingimustele kohanenud organismid, sh kemolitotroofsed bakterid, kes saavad eluks vajaliku energia keemiliste ühendite oksüdeerimisest. Nende hulgas moodustavad suure rühma nn väävlibakterid, kes oma elutegevuses on spetsialiseerunud väävliühendite ärakasutamisele. Väävlibakteriteks loetakse ka desulfaatijate bakterite perekonnad (nt Desulfovibrio spp, Desulfomonas spp jt), kes kasutavad sulfaate nn sulfaatseks hingamiseks, redutseerides need vesiniksulfiidiks ning kellele tihedate setete alla mattunud ja puidu vettimise käigus merevee sulfaatsooladega küllastunud vrakipuit on ideaalseks elukeskkonnaks:

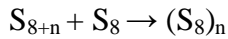


Väävelvesiniku ( $\text{H}_2\text{S}$ ) dissotsieerumisel tekkinud vesiniksulfiidioonide ( $\text{HS}^-$ ) akumulatsioonil puidukomponentide (tselluloos, ligniin, hemitselluloos) struktuuridesse võib nendes aja jooksul moodustuda mitmesuguseid orgaanilisi väävliühendeid (tioolid, disulfiidid, sulfoksiidid jms) (28). Puidu saastumine vesiniksulfiidiga võib toimuda ka ümbritsevast keskkonnast. Näiteks Vasa vrakki ümbritsenud tumedast, orgaanikarikkast mudakihi 1943. aastal võetud veeproovi  $\text{H}_2\text{S}$  sisaldus oli 7,0 mg/l (20). Vesiniksulfiidioonide reageerimisel raudesemete korrosioonil tekkinud ja puitu imunud raud(II)ioonidega sadenevad lahusest välja erineva kristallstruktuuriga raudsulfiidid, üldvalemiga  $\text{FeS}$  (mineraalnimed: makinaviit ja pürroitiit) ja  $\text{Fe}_3\text{S}_4$  (greigiit), mis enamasti teisenevad stabiilsemaks püriidiks või markasiidiks ( $\text{FeS}_2$ ) (28):

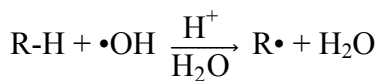
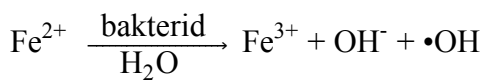


Teatud tingimustel võivad raudsulfiidid redutseeruda elementaarseks väävliks, mis puidus ja puidu pinnal liituvad väikesteks kollasteks kristallideks, vesinikioonid aga suurendavad üldist happesust (ill 5)(27).





Hoolimata hapnikuvabast keskkonnast jätkub puidu lagunemine peamiselt raud(II)ioonide, võimalik, et üle  $Fe(OH)^+$ -iooni initsieeritud Fenton tüüpi reaktsioonide kaudu, mille käigus bakterensüümide katalüüsiga tekkinud hüdroksüülradikaalid ( $\bullet OH$ ) ja võimalik, et ka peroksüülradikalid ( $HOO\bullet$ ) on võimelised lagundama väiksemateks osisteks (R-H) praktiliselt kõiki orgaanilisi ühendeid, mille käigus moodustuvad uued hüdroksüül- ja tselluloosiradikaalid (R $\bullet$ ). Käivitub tselluloosi lagunemise ahelreaktsioon (27,28, 30):



Stabiilsete keskkonnatingimuste püsimise korral kujuneb siiski pikkamööda seisund, kus vrakki destabiliseerivates keemilistes ja biokeemilistes protsessides on saanud teatud stagnatsioon ehk seisund, kus keskkonna agressiivsusest kergemini mõjutatavad materjalid (näiteks raud, taimsetest kiududest tekstiil, paber jms) on juba hävinud, mõnedes teistes materjalides (näiteks puidus) on aga mikroökosüsteemides kujunenud ebapüsiva tasakaalu tõttu lagunemisprotsessid aeglustunud. Sellises anaeroobses „vaikelus“ võiksid **vrakistumise viimasesse, kolmandasse etappi ehk anaeroobsesse faasi** jõudnud veesõidukijäänused püsida oluliste muutusteta sajandeid. Inimtegevuse tagajärjel (setete eemaldamine, taasuputamine jms) võib vrakistumise faaside arv kasvada.

### **Vrakistumisjärgne inimtekkeline aeroobne situatsioon. Sekundaarses hapnikurikkas keskkonnas toimuvad protsessid**

#### ***Antropogeense aeroobse situatsiooni kujunemine ja sellega kaasnevad protsessid***

Koos vraki avastamisega satub kohe ohtu sellega vahetus kontaktis oleva, aja jooksul kujunenud mikrokeskkonna stabiilsus. Seetõttu peavad kõik laevajäänustega toimuvad tegevused olema hoolikalt läbimõeldud ja toimetatud maksimaalse ettevaatlikkusega. Üldjoontes selliselt ongi toimitud arvukate juhuslikult või süsteemsete allveearheoloogiliste uurimistööde käigus avastatud laevajäänustega, millest vaid üksikute puhul on peetud vajalikuks need edasisteks uurimistöödeks ja

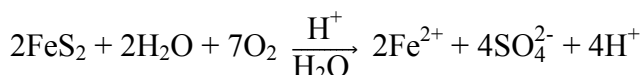
üldsusele eksponeerimiseks pinnale tõsta. Sellisel juhul on eeltööd pikaajalisteks ja kulukateks konserveerimistöödeks ning veel kallimate eksponeerimistingimuste loomiseks enamasti juba tehtud (näit *Skuldelevi* viikingilaevad, *Batavia*, *Vasa*, *Mary Rose* jt). Sageli sattutakse aga vrakkidele juhuslikult, mingite muude vältimatute tegevuste käigus, mille katkestamine või lõpetamine ei ole võimalik – näiteks uute sadamaobjektide rajamisel või vanade rekonstrueerimisel toimuvate veealuste tööde käigus. Mõnikord tulevad laevajäänused päevavalgele ka maapealsete ehituskaeviste või kommunikatsioonitrasside rajamisel kunagise akvatooriumi alal, mis on maakerke, jõesäangi teisaldumise või siseveekogu kuivamise (ka kuivendamise) tõttu maismaaks muutunud (näit Bremeni kogejäänused, nn Tallinna „Tivoli“ vrakid, mitmed Põhjamere ranniku nn poldrivrakid jt). Sellisel juhul on laevajäänuste päästmine ja edasise säilimise tagamine kultuuripärandi kaitse seaduse alusel riigi vastavatele ametkondadele kohustuslik, ettevalmistatus avariilukorrale enamasti aga praktiliselt olematu. Seetõttu on suuremõõtmeliste vettinud puitkonstruktsioonide päästmisel eriti oluline kiire tegutsemise leiu n-ö „elus hoidmiseks“, mis muinsuskaitse praktikas tähendab objektile märja tehiskeskonna loomist või selle taasuputamist kusagil teises kohas teadmisega, et taas (sekundaarselt) aeroobsesse keskkonda sattunult on konserveerimata vraki hävimine vaid aja küsimus.

Erinevalt laeva uppumisega kaasnevast kiirest ja totaalset keskkonnavahetusest ning sellega alanud vrakistumise suhteliselt lühiajalisest aeroobsest faasist (u 100 aastat), on vraki mattumine setete alla ja seda ümbritseva anaeroobse mikrokeskkonna kujunemine aeglane protsess. Selle käigus tekkiv, paljudest omavahel seotud komponentidest koosnev mikroökoloogiline kooslus on võimeline püsima suhteliselt stabiilsena pikema perioodi jooksul. Vraki kiire taasavamine aeroobsetele mõjutustele on tagajärjedelt võrreldav laevahukule järgnevaga. Sajandite jooksul kujunenud mikrokeskkonda, eriti selle elustikku, tabab kiire üldine kollaps ka sel juhul, kui vrakki ei tõsteta kuivale, vaid kõrvaldatakse „ainult“ seda ümbritsevad setted. Kohe ja täielikult hävivad rangelt anaeroobsed eluvormid. Ka hapnikku mõnevõrra paremini taluvad mikroorganismid jäävad alla aeroobsel ainevahetusel põhinevatele organismidele, kelle tormiliselt algavat elutegevust konkurendid (vähemalt esialgu) ei sega. Koos kirjeldatud muutustega taastuvad ja kiirenevad puidu komponente juba vrakistumise esimeses aeroobses faasis lagundanud protsessid – veel säilinud tselluloosi ja teiste puidukomponentide hüdrolüüs ja oksüdeerumine.

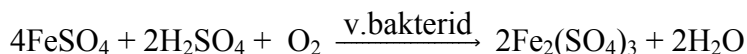
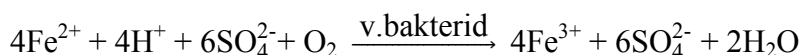
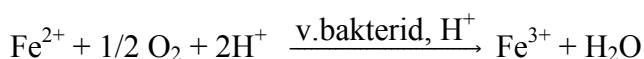
### ***Väävelhappe tekkimine***

Uue, kõige murettekitavama faktorina lisandub varasemas anaeroobses keskkonnas (vrakistumise kolmas etapp) väävlibakterite elutegevusega kaasnenud biokeemilistes reaktsioonides tekkinud ja

puidu sisestruktuuridesse ladestunud sulfiidide oksüdeerumine sulfaatideks. See toimub enamasti hapnikulembeste ja happelist keskkonda eelistavate bakterite (näit *Thiobacillus ferrooxidans*, *Sulfolobus spp*, *Gallionella spp* jt) kaasabil, kes kasutavad oma elutegevuses nii sulfiidide ksüdeerimisel sulfaatideks kui ka raud(II)ioonide oksüdeerumisel raud(III)ioonideks eralduvat energiat. Rauaioonide või bakterite katalüüsitud redoksreaktsioonid päädivad puidu hapestumise ning väävelhappe moodustumisega (28). Selle tagajärjel kiireneb oluliselt tselluloosi hüdrolüüsumisprotsess:



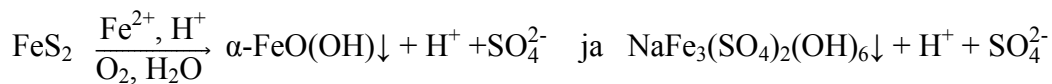
Kujunevas happelises keskkonnas ( $\text{H}^+$ ) oksüdeeruvad (raudsulfiidi oksüdeerumisreaktsiooni järgmine aste) raud(II)ioonid väävlbakterite (v.) kaasabil raud(III)ioonideks, mis on esitatud lihtsustatud, ioonse ja molekulaarse võrrandi kujul



Peale püriidi ( $\text{FeS}_2$ ) tekib väävelhape ka teistsuguse koostise ja struktuuriga sulfiidsete ühendite ja väävlit sisaldavate orgaaniliste ainete oksüdeerumisel. Väävelhape tekib ka rauabakterite (r) kaasabil toimuvates oksüdatsioonireaktsioonides, millega kaasneb lahustunud rauaühendite (raud(II) ja raud(III)ioonid) väljasadenemine peamiselt  $\alpha$ -oksühüdrosiidi ( $\alpha\text{-FeO(OH)}$ ) ehk götiidina (maagistumine):



Püriidi oksüdeerumisel võiksid Vasa laeva puhul tahketeks reaktsiooniproduktideks (sade) olla peale götiidi ( $\alpha\text{-FeOOH}$ ) ka fungitsiidina kasutatud booraksist ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ) tekkiv natrojarosiit ( $\text{NaFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$ ). Reaktsioon võib toimuda bakteriaalse katalüüsita (28, 31).



Kirjeldatud protsessid käivituvad kohe pärast anaeroobse keskkonna hävimist ja jätkuvad uues, aeroobses keskkonnas erineva intensiivsusega ka pärast konserveerimisprotsessi lõppemist. Vrakiga sekundaarses ehk antropogeenses aeroobses situatsioonis (faasis) toimivas eristub näiliselt kaks osa – esimene, mis algab mudakihi kõrvaldamisega ja jätkub konserveerimisprotsessi immutusjärgus (puidusisene vesi asendub järk-järgult PEG-ga, keskkond püsib aga liigniiskena) ning teine, immutusprotsessi lõppemise ja kontrollitud kuivamise ehk stabiliseerumisega algav täielikult õhukeskkonnas kulgev osa. Siiski mõjutavad need domineeriva agregaatoleku muutused PEG-i hügrokoopsuse tõttu vaid protsesside kulgemise kiirust, mitte aga nende olemust ja suundumust.

### ***Vraki konserveerimine. Protsessid ja probleemid***

Vettinud puidu stabiliseerimine selliselt, et see säilitaks oma esialgse väljanägemise, on arheoloogia algaegadest peale olnud muinasesemete konservaatorite jaoks üheks tõsisemaks ja keerukamaks töövaldkonnaks, millega on tegelenud terved konservaatorite ja teadlaste põlvkonnad. Alguses sisuliselt katse-eksitusmeetodil toimunud tööd on tänapäevaks muutunud valdkonnaks, millega tegelevad paljude ülikoolide ja teaduskeskuste tipptehnoloogiaga varustatud uurimis- ja konserveerimislaborite spetsialistid kogu maailmas. Ajalooliselt ei olnud huvi vettinud puidu vastu esmalt seotud mitte arheoloogiliste küsimuste lahendamise, vaid vajadusega muuta mõnikord mitmeid sajandeid või isegi tuhandeid aastaid veekogude põhjamudas „laagerdunud“ puitmaterjal võimalikult kiiresti ja väikeste kadudega väärtuslikuks tooraineks. Veekogu põhjasetetes toimunud keemiliste ja biokeemiliste protsesside tagajärjel muutuvad mõned puiduliigid tiserite poolt hinnatud erilise värvitonaalsuse ja tekstuuriomadustega väärismaterjaliks. Üheks tuntumaks kohalikuks väärispuiduks oli ja on näiteks nn must tamm. Selle erineva tonaalsusega tume värvus on tekkinud tavalise tamme (*Quercus robur*) puidus olevate parkhapete reageerimisel raudioonidega nõrgalt happelistes liivasetetes. Kuna gallustanniinhappe (parkhapete põhikomponent) hüdrolüüsil tekkinud gallushapest moodustub koos raudioonidega purpurmusta värvusega raud(III)pürogallaat, mis oli veel eelmisel sajandil kasutatud gallustindi värvikomponent (30), siis omandab ka puit sajandite jooksul sellise looduslikult tekkinud gallustindi värvivarjundid. Taolise hinnalise väärismaterjali väljatoomise ja kasutuskõlblikuks muutmise tasus vaeva näha. Peale veekogude põhjast aeg-ajalt päevavalgele tulevate tüvede olid nn musta tamme „leiukohtadeks“ ka vanad laevavrakid ja vee alla jäänud muistsete ehitiste puitkonstruktsioonid. Kuna selline „allveearheoloogia“ oli üsna levinud ja selle harrastajad olid huvitatud materjali kiirest heasse

konditsiooni viimisest, katsetati mitmesuguste kuivatus- ja immutusmeetoditega.

Väärispuiduküttide ja „-valmistajate“ (tiserid, kes töötlesid n-ö tavapuitu ümber väärispuiduga sarnanevaks materjaliks) põlvkondade jooksul omandatud nipid, sh vettinud puidu õlide ja mitmesuguste sooladega, näiteks maarjasega ( $\text{AlK}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ), immutamine või pinna töötlemine, olid üsna tõenäoliselt ka esimeste arheoloogiliste puitesemete konserveerimiskatsete metoodiliseks aluseks. Nii näiteks kasutati maarjases (alun, alum) keetmist ja kresoodiga ehk karbolinumiga immutamist (karbolinum = karbol(hape) ehk fenool + linum ehk linaseemneõli) ka eelmise sajandi alguses avastatud Osebergi viikingilaeva puidu konserveerimisel (32).

Kuigi vettinud puidu konserveerimismeetodid on tänu uurimistulemustele ja konserveerimistöõde käigus omandatud teadmistele täiustunud, on nende põhiprintsiibid jäänud aastakümnete jooksul samaks, jaotudes endiselt üldjoontes kaheks – immutamisel ja kontrollitud kuivatamisel, sh külmutus-kuivatusel põhinevad meetodid või nende kombinatsioonid. Immutusmeetodite puhul asendatakse vettinud puitu täitev vesi erinevate protseduuridega mingi tavatingimustes püsiva ja puiduosiste ning konserveeritavas objektis olevate teisest materjalist detailide suhtes inertse või materjali väliskeskkonnast isoleeriva ainega. Kõige töökindlamateks ja objekti-, konservaatori- ning keskkonnasõbralikumateks on osutunud polüetüleenglükooliga (PEG) immutamisel ja külmutus-kuivatamisel põhinevad konserveerimismeetodid, mille abil stabiliseeritakse ja konserveeritakse enamasti vettinud orgaanilisest materjalist muinasleide. Ka suurte vettinud puitobjektide (veesõidukijäänused (vrakid), ehituskonstruksioonid, laevade puidust käilakujud jms) konserveerimiseks kasutatakse kõige enam meetodeid, mis põhinevad puidus oleva vee asendamisel polüetüleenglükooliga, mille vesilahuse kontsentratsiooni järk-järgult tõstetakse. Tõenäoliselt võeti PEG puidukonservandina kasutusele seoses lennunduse algaegadel kerguse ja hea töödeldavuse tõttu laialt levinud troopilise balsapuu kuivatamisel tekkinud probleemidega. Nõudlus balsapuu järele oli eriti suur Teise maailmasõja päevil, mil seda materjali vajati kiiresti ja suurtes kogustes, näit dessantplaanerite ehitamiseks. Kuigi arheoloogilise puidu konserveerimisel katsetati PEG-ga mitmel pool maailmas juba 1950. aastatel, ei pandud uut meetodit esialgu eriti tähele. Ometi sai see aluseks vettinud puidu konserveerimisega seotud probleemide täiesti uutele lahendusviisidele, millest lähtuti ka 17. sajandi kuningliku sõjalaeva Vasa vraki (1961 Rootsi) ja Skuldelevi viikingilaevade uurimis- ning konserveerimisprojektide (1962 Taani) kavandamisel (20, 33). Neile lisandus õige pea keskaegse Bremeni koge konserveerimisprojekt (1963 Saksamaa) (23). Nende suurprojektide alustamisega muutus vrakikonserveerimine, ja koos sellega ka polüetüleenglükool, allveearheoloogia lahutamatuks osaks.

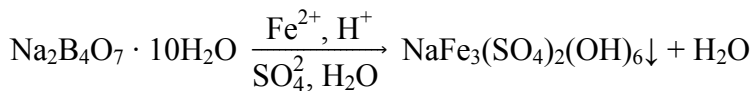
Sobiva meetodika ja konservandi valik sõltub konserveeritava objekti mõõtmetest, materjalist ja seisundist. Väiksemate ja vähemkahjustunud vettinud puidust esemete konserveerimisel kasutatakse tavaliselt ühesuguse molekulmassiga PEG-i. Suuremate ja keerukamate konstruktsioonelementidega objektide puhul kasutatakse enamasti mitmeastmelist konserveerimisprotsessi, milles immutamine toimub sageli oluliselt erineva molekulmassi ja omadustega polüetüleenglükoolidest või nende segudest valmistatud lahustega. Selliselt toimiti juba 1962. aastal alanud Vasa laeva konserveerimistöodel, kus protsessi alustati PEG 1500 ja 4000 lahusega, mille kontsentratsiooni tõsteti umbes 5% aastas (1962–1971), jätkati PEG 600-ga (1971–1979) ja lõpetati PEG 4000-ga (20). Tuleb arvestada, et Vasa konserveerimine oli tõeliselt teedrajav pioneerprojekt, mille käigus tõstus järjest uusi lahendamist vajavaid probleeme. Kuigi konserveerimistöode aktiivne periood – PEG-ga immutusperiood (1962–1979) + stabiliseerimisperiood pontoonrajatises (1978–1989) + kontrollitud kuivamine muuseumis (1989...) – vältas oluliste seisakuteta peaaegu 30 aastat, oli hästi rahastatud ja toimus tihedas koostöös uurimislaboritega, puudusid siiski igasugused eelnevad kogemused sellise hiiglasliku vettinud puidust komposiitobjektiga toimimiseks (20). Seetõttu jälgiti pärast 2000. aasta „sündmust“ kõike *Vasal* toimuvat suure tähelepanuga. Eriline staatus muutis Vasa laeva omamoodi arheoloogilise puidu konserveerimise katse- ning uuringulaboriks, kus koos kolleegidega üritati toimuvast võimalikult palju õppida. Seetõttu ei kiirustatud teistes, juba käigusolevates konserveerimisprojektides uute töötappide alustamisega ja liiguti töödega edasi n-õ kindla peale, alles pärast järgmiste etappide hoolikat vaagimist ja igakülgset ettevalmistamist – võimalus, mis *Vasa* meeskonnal puudus.

Tänapäeval konserveeritakse enamik suurtest vettinud puitobjektidest nn kaheastmelise PEG immutusmeetodiga (esmal immutatakse objekti madala molekulmassiga PEG-lahusega (kuni u 40%), seejärel jätkatakse PEG 4000-ga (kuni 70–80%), mis on Vasa projektis katsetatud ja kasutatud mitmeastmelise meetodika edasiarendus. Kaheastmelise meetodi teaduslikult põhjendatud põhimõtted töötati välja Saksa Meresõidumuuseumi märgpuidu laboris dr Per Hoffmanni juhitud töögrupi poolt (*Deutsches Schiffahrtsmuseum. Das Nassholzlabor*). Väljatöötatud meetodika järjekindel ning täpne rakendamine tagas Bremeni koge konserveerimise eduka kulgemise ning lõpetamise 1999. aastal, 35 aastat pärast töödega alustamist (23). Üldjoontes sama põhiprintsiibiga, kuid kohapealseid olusid arvestavat ja tehnilistes üksikasjades erinevat meetodikat ja lahendusviise kasutades lõpetati mõnevõrra hiljem edukalt ka Skuldelevi viikingilaevade, *Mary Rose*'i ja *Batavia* konserveerimine (9, 33, 34, 35).



### ***Võimalike biokahjustuste ennetamine ja sellega kaasnevad probleemid***

Kõigi laevajäänuste konserveerimistöödega kaasneb alati nn biorünnaku oht – konserveeritav objekt on ju suurepäraseks keskkonnaks kõigis avaldusvormides elusorganismidele. Vasa laeva hallitusprobleemide lahendamiseks ja ühtlasi puidu happesuse vähendamiseks lisati PEG lahusesse booraksit ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ) vahekorras 3:7 (erinevatel etappidel 4–1 massi%), mida kulus kokku 5 tonni. Samal ajal reageeris aluseline booraks puidus olevate väävliühendite oksüdeerumisel tekkinud väävelhappega, moodustades naatriumsulfaadi, mis lahustus vrakipuidust immutuslahusesse. Osa sulfaatidest võib deaktiveeruda mitmeastmelises redoksreaktsioonis, mille käigus tekib vähelahustuv kompleksühend – natrojarosiit ( $\text{NaFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$ ). Teiste vrakkide konserveerimisel kasutatud bakteriitsiidide ja fungitsiidide kohta hetkel täpsemad andmed puuduvad.



### ***Probleemne polüetüleenglükool***

Pärast 2000. aasta Vasa „sündmust“ tehtud põhjalike uuringute käigus selgus, et ka väga stabiilseks ja keskkonnamõjutustele vastupidavaks peetud polüetüleenglükool võib teatud tingimustes laguneda ning moodustada puidu osiseid lagundavaid süsinikühendeid – happeid ja aldehüüde ning vastupidi, puidu laguproduktidest tekkinud ained koos raudioonide ja Fenton radikaalidega võivad lõhkuda PEG-i polümeerset struktuuri. Millises ulatuses on need reaktsioonid juba toimunud ja kuivõrd on PEG-ahelad juba destruktureerunud ning millise tulemuseni võivad kahtlemata jätkuvad protsessid viia, pole veel päris selge. Igatahes on ettevaatlikult avaldatud isegi kahtlust PEG-i kui stabiliseeriva konstruktsioonelemendi (toimib puidustruktuuride toestajana) kasutamise otstarbekuses rauddetailidega puitobjektide konserveerimisel (35). Praeguseks konserveeritud laevavrakkide edasisele säilimisele on jätkuvalt suurimaks ohuks puidu hapestumine, eriti väävliühendite oksüdeerumise tagajärjel tekkinud väävelhape. Kuna juba konserveeritud puidu neutraliseerimiseks ei olnud enam võimalik kasutada hapet neutraliseerivaid vesilahuseid, töödeldi väiksemaid Vasa puitsemeid gaasilise ammoniaagiga. Sellele järgnenud laboratoorsed uuringud ja proovikehadega tehtud katsed näitasid, et puidu pindmises osas oli happesus vähenenud (pH 6–7,5). Neutralisatsioonireaktsioonis tekkisid ammoniumisoolad, sh ammooniumjarosiit ( $(\text{NH}_4)\text{Fe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$ ) ja ammooniumsulfaat ( $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ). Kogu laeva ammoniaaktöötlus ei ole

tõenäoliselt võimalik (36). Mitmetes konserveerimistöodes on puidu happesust üritatud vähendada sooda ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{NaHCO}_3$ ) lisamisega, kuid püsivate tulemusteta.

### ***Konserveerimine ja nanoosakesed***

Kõige uuem ja perspektiivikam moodus puidu hapestumise vastu võitlemiseks tundub olevat leelismuldmetallide (M) – Ca, Sr või Ba karbonaatide (ka hüdroksiidide) nanoosakeste pihustamine puidustruktuuridesse koos konserveerimislahustega. Väävelhappe reageerimisel muldmetalliühenditega tekivad rasketilahustuvad sulfaadid, karbonaatioonid ( $\text{CO}_3^{2+}$ ) reageerivad aga vesinikioonidega ( $\text{H}^+$ ), moodustades vee ja süsihappegaasi ( $\text{CO}_2$ ):



Happe neutraliseerimise käigus vesilahuses tekkivatest muldmetalli hüdroksiididest on puidu suhtes kõige pehmema toimega strontsiumhüdroksiid, mis ei tekita isegi hüdroksiidina materjali jäädes sellele olulist kahju. Nanoosakeste eelis samade ainete sooladega võrreldes seisneb võimaluses viia neid materjalidesse suuremates kogustes ja tavaliste soolade puhul paratamatu väljakristalliseerumise ohuta. Samal ajal on neid võimalik materjali viia sellisel hulgal, et peale happesuse ja sulfaatide kohest neutraliseerimist jääks veel piisav „tagavara“ ka tulevikus tekkiva happesuse ja sulfaatide neutraliseerimiseks. Nanoosakesed on võimelised siduma väävlit ka puidus akumuliseerunud väävlit sisaldavates ühendites, näiteks püriidis. Praegu tundub nanoosakestel põhinev happe neutralisatsioon olevat perspektiivikas puidu hapestumise tekkepõhjusti elimineeriv meetod. Kuigi *Mary Rose Trust*'i laborites väljatöötatud meetod oli eelkõige mõeldud *Mary Rose*'i konserveerimisel ilmnunud probleemide lahendamiseks, on algselt vettinud puidu töötlemiseks mõeldud nanoosakestel põhinevat konserveerimismetoodikat ilmselt võimalik rakendada ka teistsuguste, näiteks happevihmadest kahjustatud objektide töötlemiseks (37). Millisel määral ja kuidas uut meetodit *Mary Rose*'i konserveerimisel kasutati, minul hetkel täpsem teave puudub, selle tõhusust selgitab aga aeg. *Mary Rose*'i konserveerimistööd lõpetati 2013. aastal.

### **Kokkuvõte ja arutlus asjast**

Kuigi kirjeldatud protsessid on suuremal või vähemal määral juba toimunud või jätkuvad kõigi veekeskkonnas vrakistunud puidust veesõidukite materjalidega, võib nende tulevik olla oluliselt erinev, sõltudes edaspidi suuresti eelkõige hoiutingimustest. Kindlasti on määravad leiukoha

looduslikud tingimused, objekti leiuaegne seisund ja leidmisjärgne käitlemine. Laevajäänuste edasisele saatusele avaldavad kõige suuremat mõju vrakistumiskoha looduslikud olud, eelkõige vee soolsus, keskkonna temperatuur, sedimentatsiooni kiirus ja intensiivsus ning setete antropogeenne saastatus. Kuigi kõigis vrakkides toimuvad ühesugused protsessid, sõltub nende ulatus ja vrakistumise edasine kulg kõige enam esimeses aeroobses faasis toimunud, puidu vettimisega kaasnenud sooldumisest. Puidu sooldumine võis alata juba enne uppumist (meresõidukid), sellisel juhul võib sooladeta magevees vrakistumisel nende sisaldus isegi väheneda. Ometi jääb ka magevees teatud hulk puidu esialgsest (uppumiseelsest) soolsusest alles ja mõjutab edasisi vrakipuidu ja eriti rauddetailidega (elektrokeemiline korrosioon) toimuvaid protsesse. Näiteks olid Pärnu kogejäänuse needid ja teised rauddetailid peaaegu täielikult hävinud, hoolimata selle mageveelisest vrakistumisest Pärnu jões. Sama täheldati ka Weseri jõesetetest leitud Bremeni kogel. Kahtlemata oli see „mälestus“ kunagistest, võibolla aastakümneid väldanud mereretkedest. Ei ole suurt vahet, kas puidus toimuvad protsessid leiavad aset hapnikurikkas magedas või soolases vees. Seevastu võivad erinevused ilmned vrakistumise anaeroobses faasis, kus algab bakterite elutegevuse ja rauaioonide koosmõjul sulfaatide redutseerumine sulfiidideks, millega kaasneb vesiniksulfiidi ja raudsulfiidide ladestumine puidus. Kuna magevees puuduvad nii sulfaadid kui ka sulfaatide redutseerijad-bakterid, ei saa ka puidusiseste protsessidega sulfiide tekkida. Küll on aga võimalik ümbritsevast keskkonnast pärineva väävelvesiniku akumulereerumine puidu struktuuridesse. Kõrge vesiniksulfiidi sisaldusega olid nii Vasa laeva kui Mary Rose'i, aga ilmselt ka Pärnu koget, Maasi laeva ja Skuldevi viikingilaevu ümbritsenud setted. Bremeni ja Tallinna Tivoli kogesid ümbritsenud liivasetetes see tõenäoliselt puudus (?). Üldiselt on suur vesiniksulfiidisisaldus iseloomulik antropogeensele saastele, kuid on üsna tavaline ka looduslikes, kõrge orgaanilise aine sisaldusega setetes, sh ka kunagi kivisöe- ja põlevkivilademeid moodustanutes (28). Seega on teatud tingimustel sulfiidide akumulereerumine ja hilisem väävelhappe tekitatud puidu hapestumine võimalik ka magevees vrakistunud veesõidukitel. Ülejäänud puidusisised protsessid peatuvad või aeglustuvad (stagneeruvad). Sama intensiivsusega kui aeroobses faasis jätkuvad Fenton tüüpi radikaalreaktsioonid.

Uude, inimese poolt tekitatud hapnikurikkasse keskkonda sattumisega taastuvad esimeses aeroobses faasis toimunud protsessid, v.a selleks ajaks enamasti juba täielikult hävinud materjalide, sh raua korrosioon. Domineerivaks muutub bakterite ja raud(II)ioonide initsieeritud sulfiidide oksüdeerumine sulfaatideks, mille tagajärjel moodustuva väävelhappe toime kiireneb oluliselt puidu happeline hüdrolüüs. See toob ilmselt kaasa taasuputatud vrakkide hävimise enne nende uuesti setete alla mattumist. Koos konserveerimisprotsessiga algab PEG-i polümeersete molekulide radikaalmehhanismiga lagunemine, mille tulemusena võib moodustuda puitu mõjutavaid orgaanilisi

happeid ja aldehüüde. Lisaks sellele mõjutab PEG-i hügroskoopsus konserveerimisprotsessi järgselt vrakisese mikrokliima stabiilsust. Konserveerimisprotsessiga kaasnevad veel fungitsiidide (nt booraks) ja happesuse vähendamiseks kasutatavate ainetega, sh nanoosakestega toimuvad reaktsioonid. Pärast konserveerimisprotsessi lõpetamist ja objekti stabiilse kliimaga hoiukohta paigutamist kõik protsessid stagneeruvad, kuid tänu neid elushoidvate komponentide allesjäämisele ja PEG hügroskoopsusele, säilib ka võimalus kõigi protsesside taaselavnemiseks.

### **Force majeure ehk paratamatus vrakikonserveerimises**

Konserveerimistöõde eesmärgiks on objekti ja ümbritseva keskkonna vahel tasakaaluseisundi loomine, mis tagaks selle võimalikult pikaajalise visuaalsete muutusteta välisilme säilimise ja objektis toimuvate destruktsiooniprotsesside pidurdumise. Kahjuks toimub enamiku konserveerimismeetoditega kaasnev pikaajaline PEG-töötlus aeroobses ja liigniiskes, so enamiku vaadeldud protsesside (sh väävliühendite oksüdeerumine väävelelhappeks) kulgemiseks soodsas, keskkonnas. Näiteks PEG- immutusmeethodil toimuva konserveerimisprotsessi aktiivne periood on u 20 aastat, ja PEG-immutus külm-kuivatuse ettevalmistusperioodil vältab u 1–2 aastat. Paraku kaasnevad mõlema meetodi rakendamisega hiljem paratamatult PEG-i hügroskoopsusega seotud probleemid, sh ka konserveeritud vraki kaalu märgatav lisandumine (võib imada vett u 10% puidus vett asendanud PEG kaalust). Vähem mõjutab hügroskoopsus külm-kuivatusmeethodil konserveeritud ja umbes 1/4 või enam oma esialgses kaalust kaotanud objekti – selles olevast veest asendatakse PEG-ga vaid kuni 20%, ülejäänud osa jäätunud veest sublimeerub, jättes laevapuitu mikrotühikud. Seega ei piisa ainult edukalt läbiviidud konserveerimisprotsessist, vaid veelgi olulisem on objektile jätkusuutlikult stabiilse ja optimaalse režiimiga säilituskeskkonna loomine ja hoidmine. Lähtudes tõdemusest, et enamik laevajäänustes toimunud ja toimuvatest protsessidest on olemuselt üldised ja jälgitavad kõigis objektides ning jätkuvad erineva intensiivsusega ka pärast konserveerimist, võib neid vaadelda paratamatu „kaasandena“ ehk nõ vääramatult toimiva jõuna (*force majeure*). Ometi võimaldab just vrakis toimuvate protsesside universaalsus mõista ja prognoosida ka äsjaavastatud vrakis toimuvat, tuginedes teistele, loodusoludelt lähedastes tingimustes vrakistunud ning konserveerimistöõde käigus juba põhjalikult uuritud, laevajäänuste andmestikele. Näiteks on hästi võrreldavad lähedastes tingimustes vrakistunud *Vasa* ja Maasilinna laev (savikad orgaanikarikkad setted ja vee soolsus mõlemas u 7%) ning Breemeni ja Pärnu koged (mage jõevesi). Tõenäoliselt sarnaneb ka nn Tallinna „Tivoli“ koge looduse poolt ettekirjutatud tulevikustsenaarium kõige enam *Vasa* ja Maasi laeva omaga, millesse tulevased konserveerimistöõd kirjutavad oma täiendused.

Lõpetuseks lisan artiklis vaadeldud vrakkide lühituvustused, mille koostamisel on kasutatud ka Alaska Riigimuuseumi Ellen Carrlee Conservation 2009. aasta bülletäänis avaldatud ülevaatlikku kataloogi lühiteabega kogu maailmas kuni tolle hetkeni PEG-immutusmeetodiga läbi viidud vrakikonserveerimistest (9). Kuna seni ei ole Eestis vrakikonserveerimistel PEG meetodit kasutatud (nt nn Nõuni ruhe conserveerimine allkirjutanu poolt 1981. aasta sügisel fenoolaldehüüdi-suhkru ehk külmade-kuumade vannide meetodil (3)) või on PEG-i kasutatud vaid conserveerimisprotsessi alguses (nt Maasi laeva ja Pärnu kogefragmendi conserveerimine normaalarõhul külm-kuivatuse meetodil (5, 12, 13) jt, pole neid töid selles kataloogis mainitud.

### **Lühiülevaade olulisematest vrakikonserveerimistest**

***Kuninglik sõjalaev Vasa.*** Ehitatud 1626–1628 Rootsis Stockholmis. Uppunud esimesel reisiril 10. 08. 1628 Stockholmi sadama lähedal Stockholms Strömis. Laevakiil oli uppumisel tunginud 2,5 m sügavuselt sinisavisse, mis tegi laeva päästmise võimatuks. Uppumiskoha soolsus u 7‰; tihe, rohke orgaanikaga tume põhjamuda tugeva antropogeense sulfiidse saastatusega. Avastati 1950. aastate lõpul, toodi pinnale 1961. aastal.

Konserveerimine toimus Vasa projekti käigus väljatöötatud mitmeastmelise PEG-immutusmeetodiga, mille pideva protsessina rakendamine ja lõpuleviimine oli suure puitobjekti conserveerimisel esmakordne. Immutusprotsess viidi läbi automaatse vihmatusseadme abil tsirkuleeritava PEG-lahusega, millesse oli hallitust ennetava ainega lisatud booraksit, mis toimus ühtlasi ka happesuse neutraliseerijana. Aktiivne conserveerimisperiod 1962–1988, sh immutusperiod 1962–1979; viimistlustööd, stabiliseerumine ja laeva kokkumonteerimine 1978–1989. Alates 1989. aastast on laev *Vasa* muuseumi (*Vasamuseet*) ekspositsioonis. Pärast 2000. aasta „sündmusi“ laevapuidu tugeva sulfaatse (väävelhape) ja rauaühendite saastatuse poolt põhjustatud hapestumise ning nende koosmõjul toimunud PEG-i destruktureerumise tuvastamise järel hakati vrakikonserveerimisse ja sellega kaasnevatesse probleemidesse tõsisemalt suhtuma.

**Konservaator:** Rootsi Meremuuseum (*Statens Maritima Museer*).

***Kuninglik sõjalaev Mary Rose.*** Ehitatud 1510. aastal Inglismaal Portsmouthis. Uppus 19. 07. 1545 Portsmouthi sadamareidil lahingus Prantsuse ja Šoti ühislaevastikuga. Uppumiskoha vee soolsus 33‰, mudakiht tugeva antropogeense sulfiidse saastatusega. Taasavastati 1972. aastal, toodi pinnale 1982 (*Mary Rose Trust*) ja toimetati uurimis- ja rekonstrueerimistöödeks Portsmouthi sadamadokki. Konserveerimine toimus kaheastmelise PEG-immutusmeetodiga. Piserdustööd PEG 200 lahusega

1994–2005, seejärel PEG 2000-ga kuni aastani 2011 (lõppkontsentratsioon 50–60%). Stabiliseerumine toimus konserveerimisrajatises 2013. aastani. Konserveerimistööd peaksid täielikult lõppema 2016. aastal. Konserveerimisprotsessi käigus täheldati samasuguseid sulfaatse saastatuse tunnuseid nagu Vasa laeval. Happesuse vähendamiseks töötati *Mary Rose Trust*'i laborites välja nanoosakestel baseeruv neutraliseerimismeetod. Millisel määral ja millises konserveerimisjärgus uut meetodit rakendati, vajab täpsustamist.

**Konservaator:** *Mary Rose Trust*

**Bremeni koge.** Uppunud u 1380. aastal Saksamaal Bremeni sadama lähedal. Leitud Weseri jõe setetest 1963. aastal uue sadamadoki ehitustööde käigus. Pärast leidmist säilitati vrakki raudplekist veekonteineris, kuhu paigutati ka u 2000 järgnevatel aastatel leiukoha ümbert jõe põhjast leitud irdunud puitdetaili. Järgnevatel aastatel hoiti kogejäänuseid madalal temperatuuril (<10°C) ja enam-vähem 100% suhtelise niiskusega vihmutusseadmetega varustatud konserveerimishoones. Sellel perioodil toimus ka vraki rekonstrueerimine. Konserveerimine viidi läbi dr Per Hoffmanni väljatöötatud kaheastmelisel PEG-immutusmeetodil. Konserveerimiseks ehitati tervet laeva mahutav kaudse kuumutusega teraskonteiner. Tööde esimesel etapil (1985–1995) immutati laevajäänuseid järk-järgult tõstetava kontsentratsiooniga PEG 200 lahuses, misjärel see vahetati PEG 3000-ga. Immutuslahust kuumutati 60–70°C. Nelja-aastase protsessi lõpuks (1999) saavutati u 60% PEG kontsentratsioon (23). Magevees vrakistumise tõttu Bremeni kogel sulfaatset saastatust ei tekkinud. PEG-i destruktureerumise kohta andmed puuduvad.

**Konservaator:** Per Hoffmann, Saksa Meresõidumuuseum.

[http://www.hansekogge.de/hkpress/wp-content/uploads/2012/12/Die\\_Bremer\\_Kogge\\_von\\_1380\\_DSM.pdf](http://www.hansekogge.de/hkpress/wp-content/uploads/2012/12/Die_Bremer_Kogge_von_1380_DSM.pdf)

**Skuldelevi viikingilaevad** (5). Uputatud u 1070. aastal kitsasse kanalisse, tõkestamaks vaenlase laevastiku juurdepääsu Roskilde kaubalinnale. Leiti kanali puhastustööde käigus 1962. aastal. Paralleelselt toimunud uurimis- ning konserveerimistööd vältasid u 30 aastat. Konserveerimine toimus osade kaupa, vastavalt uurimistööde edenemisega kaasnevale laevajäänuste demonteerimisele. Kasutati erinevaid PEG-konserveerimismeetodeid (PEG 600–4000). Põhiline osa konserveeriti, tõstes konserveerimislahuse kontsentratsiooni sujuvalt aurutamise (lahuse temperatuur pidevalt 60°C). Protsess vältas 12–24 kuud. Katsetati ka PEG-solventimmutust (heksaan jt). Konserveeritud esemete materjali (PEG) kromatograafilisel kontrollimisel avastati PEG 4000 lagunemise märke (33). Sulfaatide probleemi kohta andmed puuduvad, võimalik, et

kanal oli mageveeline (?). Praegu on konserveeritud laevad Roskilde Viikingilaeva Muuseumi ekspositsioonis, kus toimusid ka konserveerimistööd.

**Konservaator:** B. Brorson Christensen, Taani Rahvusmuuseum (*Nationalmuseet er Danmarks*).

**Hollandi Ida-India Kompanii parklaev Batavia.** Ehitatud 1628. aastal Amsterdamis Hollandis. Sõitis 04. 06. 1629 Austraalia läänerannikul karile ja uppus. Avastati ja toimetati osade kaupa kaldale 1972–1976. Tammepuust kaarte ja balti männist plangutusega keres leiti laevaoherdi (*Teredo navalis*, ingl *shipworm*) uuristatud käike. Konserveerimiseks kasutati PEG-immutusmeetodit (PEG 1450). Kuna töö toimus osade kaupa, uputati detailid tervikuna lahusesse, mille kontsentratsiooni tõsteti aurutamise; lahuse temperatuuri hoiti püsivalt 60°C juures. Pinnatöötamiseks ja viimistluseks kasutati PEG 6000 (Roskildes kasutatud tehnoloogia). Kuna puidus oli palju väävliühendeid (püriit) ja kõrge happesus, töödeldi vrakiosi gaasilise ammoniaagiga. 1990. aastatel täheldati puidu pragunemist. Töid finantseeris Lääne-Austraalia Muuseum. Praegune asukoht Freemantle Laevavrakkide Galeriis Austraalias.

**Konservaatorid:** Ian MacLeod, James Pang.

**Maasi laev.** Uppunud u 1550. aastal Väikeses väinas Saaremaa idarannikul. Avastatud 1985. aastal Eesti Meremuuseumi allveeklubi „Viikar“ sukeldujate poolt. Konserveerimistööd algasid 1987. aasta sügisel, kohe pärast vraki kaldaletimetamist spetsiaalselt selleks ehitatud ja külmutusseadmetega varustatud ajutises konserveerimishoones. Tööks kasutati ENSV TA (praegu: TLÜ) Ajaloo Instituudis välja töötatud (J. Peets) eelneva PEG-immutusega normaalrõhu külmuivatusmeetodit, mille rakendamine oli suurte puitobjektide konserveerimisel esmakordne. Vrakiosade immutamine PEG 1200 20% vesilahusega toimus käsipritsi abil (1987–1988). Külmuivatus vältas u 16 kuud (1988 oktoober – 1990 jaanuar). Stabiliseerumine ja järelkuivamine toimus kliimaseadmeteta konserveerimishoones (1990–2010). 2005. aasta märtsis tõdeti erinevate soolade ja eheda väävli ladestumist puitdetailide pinnale, samuti puidu hapestumist – pardalauast võetud proovitükis tuvastati poolmikroanalüüsiga kloriide (ilmselt naatrium- ja raudkloriidid), sulfaate, sh CaSO<sub>4</sub>, raud(II) ja (III)ioone (enamik ilmselt raud(III)okühüdraadid, võimalik ka kloriidne akaganiit. Puidu pindmine pH 3,7 (38). Alates 2012. aastast asub laev Eesti Meremuuseumi Lennusadama ekspositsioonis.

**Konservaatorid:** Jüri Peets, TLÜ Ajaloo Instituut; Vello Mäss, Eesti Meremuuseum.

**Pärnu koge.** Uppunud 1280–1410 Pärnu jõe suudme lähedal. Avastati Pärnu jahtklubi sadamasilla ehitustööde käigus. Osa pardast tõsteti 1991. aasta juunis Saaremaa allveeklubi „Süvari“

sukeldujate poolt (Tõnu Sepp) kaldale ja paigutati külmuivatusmeetodil konserveerimiseks spetsiaalselt konstrueeritud automaatvihmutussüsteemiga konteinerisse (OÜ AGU EMS Kalle Käsi). Eelimmutuseks (1991–1993) kasutati PEG 1200 20% vesilahust. Külmuivatuslega alustati 1993. aasta suvel. Mitmel põhjusel katkesid tööd sama aasta novembris ja külmutusseadmete rikke tõttu hakkas vohama hallitus. Kuna seni konserveerimisega tegelenud isikud keeldusid töid jätkamast, vastutas nende eest edaspidi J. Peets. Pärast põhjalikku hallitustõrjet (desinfitseeriv gaas ja 10% formaliini vesilahus) alustati taas külmuivatus, mis vältas kuni 1995. aasta detsembrini. Järgnes umbes aasta kestnud stabiliseerimisprotsess madalal temperatuuril (5–10° C) ja kontrollitud kuivamine stabiilsena hoitud niiskusega (50–60%) konteineris. Puidu pinda tugevdati kohati akrüülpolümeeri 3–5% atsetoonilahusega. Konserveerimistöõde lõpetamise järel monteeriti kogefragment raudtorudest ekspositsioonialusele ja sõidutati mitmeks aastaks Soome mitmesugustele näitustele. Pärast Pärnusse tagasijõudmist hoiti erinevatel näitustel eksponeerimise ja sellega kaasnenud teisaldamiste tõttu kõvasti kannatanud vrakijäänust mitu aastat tegevuse lõpetanud piimatööstuse kliimaseadmeteta hoidlas. 2012. aasta mais paigutati renoveeritud koge pardaosa Pärnu Muuseumi uude ekspositsiooni.

**Konservaatorid:** Jüri Peets, Aivar Kriiska, Kalle Käsi jt.