

LENTE GÁBOR

# A Vasa új csatája az elemekkel

A Vasa hadihajó a svéd haditengerészet igazi büszkesége lehetett volna, ha valaha is kijut a Stockholmi-öbölből a nyílt tengerre. Mégsem lett az, mert még vízre bocsátásának napján, 1628. augusztus 10-én elsüllyedt, miközben alig másfél kilométer utat tett meg a tengeren.

A Vasat, a Balti-tenger legnagyobb tűzerejű sorhajóját II. Gusztáv Adolf svéd király 1625. január 10-én aláírt megrendelésére készítették a Harmincéves Háború (1618–1648) idején. Megépítése rövidesen nagyon is sürgős lett a svéd haditengerészet számára, mert 1625 őszén egy viharban nem kevesebb, mint tíz hadihajójuk süllyedt el a Rigai-öbölben. A hajót a neves holland hajóácsmester, *Henrik Hybertsson* kezdte el építeni, s a gyorsított eljárás miatt eredeti terveit már a kezdeti szakaszban kénytelen volt több helyen is módosítani. A szakember nem sokkal az építés kezdete után súlyosan megbetegedett és 1627 májusában meghalt. A munkát ezért szinte végig segítette, *Hein Jacobsson* felügyelte. Ebben a korban még nem voltak matematikai módszerek a hajók stabilitásának megőrzésére; ilyen eljárásokat csak bő száz évvel később dolgoztak ki. A nagy hadihajók esetében meglehetősen általános jelenségnek számított, hogy közvetlenül a vízre bocsátás után elég instabilak voltak: ezeket a hibákat az első néhány út megtétele után, utólag korrigálták. A Vasának azonban – elsősorban a vitorlázási sebesség növelésének szándékával – olyan magasan a vízvonal fölé került a súlypontja, hogy az nagyon hamar végzetesnek bizonyult.

1628. augusztus 10-e vasárnap volt. (Svédországban ekkor még a Julián-naptárt használták: csak az 1700 és 1740 közötti években tértek át fokozatosan a Gregorius-naptár használatára, amely szerint a Vasa katasztrófájának napja augusztus 20-ra esett). Az akkorra már teljesen felszerelt hajó nagy tömeg jelenlétében, délután négy és öt óra körül hagyta el a Királyi Palota közvetlen közelében lévő horgonyzóhelyét. Eleinte a partról kötéllel vontatták, majd az öbölbeli áramlat elérével sodródni kezdett; miközben díszlövészekkel búcsúztatták a partról. Nem sokkal később egy kisebb szellőkés hatására megdőlt: ekkor még nagy nehézségek árán ugyan, de vízszanyerte egyensúlyát. Közben a tíz vitorlából négyet felvontak, s ezekben kapott be-

le egy hirtelen támadt szélroham, amelytől az egyébként is kedvezőtlen súlyeloszlású építmény az előzőnél még jobban megdőlt. A nyitva lévő alsó ágyúnyílásokon befolyt a tengervíz, s emiatt a hajó mindössze néhány perc alatt elsüllyedt a 32 méter mély tengerben.

A hajó teljes legénysége harci körülmények között kb. 300 fő körül lehetett. A balesetkor mindössze kb. 100 tengerész volt a fedélzeten, de néhányukat a csa-

annyt érték el, hogy az árbócsúcsok évekig folyamatosan a víz szintje fölött voltak, így a roncsok elhelyezkedése felől senkinek sem lehetett kétsége. 1664–1665-ben bűvárok segítségével a nagyon értékes bronzágyúkat kiemelték, de a Vasa ezután hosszú időre feledésbe merült, habár a Stockholmi-öböl hivatalos térképe még a XIX. század közepén is mutatta a roncs vélt helyét.

*Anders Franzén* (a svéd haditengerészet mérnöke, amatőr archeológus) az 1950-es évek elején nagy erőfeszítésekbe kezdett elsüllyedt hadihajók megtalálására és kiemelésére. A Vasa igen előkelő helyen szerepelt a listáján. *Nils Ahnlund* történésznek az egykori leírások alapján voltak elképzelései a Vasa maradványainak lehetséges helyzetéről, de ezek a valós helytől jóval délebbre tették a roncsot. Franzén 1954-ben a haditengerésztől kölcsönzött hajók segítségével viszonylag primitív módszerekkel kezdte meg a kutatást, amelyet nem koronázott siker: vaskályhákat, bicikliket, kidobott karácsonyfákat ugyan talált a vízben, de



A Vasa rövid útja a Stockholmi-öbölben

látogatóik is elkísérték. A katasztrófában mintegy 30-an veszték a tengerbe, főként olyanok, akiknek nem sikerült időben kijutniuk a hajó belsejéből. (Sok évvel később, a Vasa kiemelésekor, 25 csontvázat találtak, ebből kettő női volt.) A kapitány, *Söfring Hansson* sokáig még menteni próbálta a menthetőt, s az utolsók között hagyta el a hajót, akárcsak *Erik Jönsson* altengernagy. Az ő életük hajszálon múlt ugyan, de sikerült megmenekülniük. Nem volt szerencséje viszont *Hans Jonssonnak*, akire egyébként az első tervek szerint a Vasa vezetését bízták volna: ő azért volt a fedélzeten, mert az új hajók első útjain általában egy második, tapasztalt kapitány is részt vett. A túlélők egy része mintegy 120 métert úszott a Beckholmen nevű szigetcseke partjáiig; többségüket a Vasat kísérő kisebb hajó mentette ki a vízből.

Az elsüllyedt hajó kiemelését már nem sokkal a baleset után megkísérelték, de csak

hajóroncsot nem. 1955 őszén végül rámosolygott a szerencse: Stockholm városa egy tervezett híd építésének előkészületeként a Beckholmen-sziget körül a tengerfenék részletes feltérképezését kezdte el. Franzén hozzájutott a térképekhez, s azonnal fel is tűnt neki egy kb. 50 méter hosszú és 6 méter magas kiemelkedés az V. Gusztávról elnevezett szárazdókk közelében. Szakértők azt mondták neki, hogy ez az 1920-as években jött létre a dokk építésénél kirobbantott szikladarabokból. A haditengerészet egyik legtapasztaltabb, roncsmentéssel foglalkozó bűvára, *Per Edvin Fåltling* viszont határozottan úgy emlékezett, hogy az a törmelék egészen máshová került.

A következő nyáron tovább folytatták a kutatást: 1956. augusztus 25-én fekete tölgyfadarabokat sikerült a felszínre hozni éppen onnan, ahol a felmérések a kiemelkedést jelezték. Ennyi bizonyíték már elegendő volt ahhoz, hogy a haditengerészet bű-



A Vasa balesetét ábrázoló makett a Vasa Múzeumban

várscsoportot küldjön vizsgálni. Szeptember elején maga Fálting is az első merülők között volt, így ő fedezte fel a nagy hadihajó elsüllyedt roncsait. Egy ideig a svéd újságokban még volt vita arról, hogy melyik is lehet a hajó, de a történelmi feljegyzések gondos áttanulmányozásával a Vasán kívül minden más lehetőséget kizártak.

Ezután hatalmas és nagyon összetett művelet indult meg, amelyet egyesek humorosan a svéd Apollo-programnak is neveztek. A munkát a Broströms cég vezette, amely a legnagyobb elsüllyedt értékek kimentésével foglalkozó vállalat egész Skandináviában. Az is sokat segített, hogy



Hajóféreg (*Teredo navalis*)

1950-től 1973-ig VI. Gusztáv Adolf – a Vasa építtetőjének névrokona – uralkodott Svédországban, aki amatőr archeológusként igen jelentős nemzetközi hírnévre

tett szert: a világ sok táján vett részt ilyen expedíciókban, s többek között a Yale, a Princeton és a Cambridge-i Egyetem is adományozott neki tiszteletbeli doktori címet. A király tekintélyével és anyagi befolyásával is segítette a Vasa kiemelését célzó nagyszabású terveket.

A műveletet igen részletesen átgondolva készítették elő. Ezalatt számos próbamerülést is végeztek, s már ezek során is sok XVII. századi lelet került a felszínre. 1958. szeptember 5-én egy ágyú felszínre hozatalát még a rádió is élőben közvetítette. A hajótest kiemelése 1959. augusztus 20-án kezdődött. A terveknek megfelelően, megfeszített acélkábelek használatával, a hajót sikerült kimozdítani az iszaptól, de a kiemelés csak igen óvatosan végezték: egy-egy lépcsőben csak viszonylag szerény mértékben mozgatták a hajót, s kicsit odébb, kicsit sekélyebb vízben újra a tengerfenékre eresztették, általában egy méternél is kevesebbet csökkentve a hajótest fölötti vízréteg mélységén. A tizennyolcadik ilyen lépés után már kellően sekély vízben, mindössze 17 méter mélységben volt a hajó, s ekkor elkezdődhetett egy újabb módszer használata. Ezt persze újabb másfél éves előkészítési szakasznak kellett megelőznie: megfelelő rögzítési pontokat alakítottak ki, illetve a hajón lévő, könnyen mozdítható dolgok többségét eltávolították a súly csökkentése céljából.

Végül a hajótestet 1961. április 24-én (hétfőn) kilenc óra után néhány perccel emelték a vízszint fölé – vagyis a Vasa né-

hány hónap híján 333 évet töltött a tenger fenekén. A műveletet több ezer ember kísérte figyelemmel a helyszínen. Ez a lépés viszont még közel sem a vége volt a munkának: az igazi erőfeszítésekre csak ezután volt szükség. Három hatalmas szivattyú tíz nap alatt távolította el belőle a vizet, s május 4-én vontatták be az archeológiai munkálatokra adigra speciálisan előkészített dokkba.

Oxigénben gazdag tengervízben a faanyag viszonylag gyorsan lebomlik természetes folyamatok következtében, ezért a nagy méretű, tengerből kiemelt faleletek viszonylag ritkák az archeológiában. Ehhez képest a Vasa faanyaga meglepően jó állapotban maradt fenn az évszázados mártózás közben. Ennek több oka is van. Először is a Balti-tenger már önmagában is ideális hely hajóroncsok jó állapotban való megőrzéséhez. A sótartalom ugyanis szokatlanul kicsi, az óceánokban mért érték egytizede és egyötöde között változik. Ez nem teremt kedvező életkörülményeket a faanyagon élősködő szervezetek számára (ilyen például a



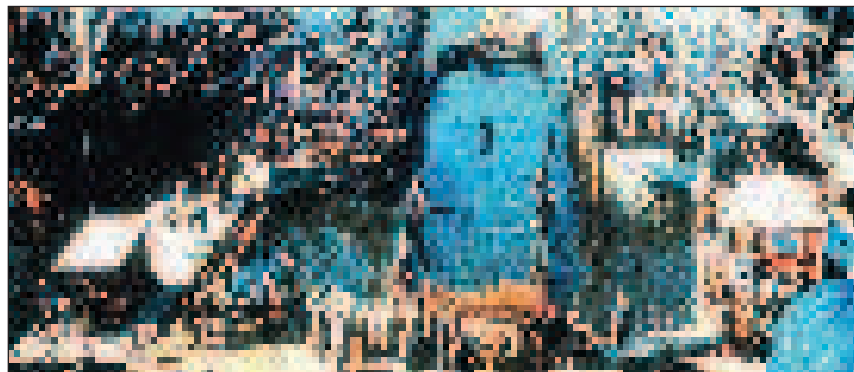
Anders Franzén, a Vasa kiemelésének központi alakja

folyamatos használatban lévő hajókon is gyakran jelentős károkat okozó hajóféreg, a *Teredo navalis*. A Stockholmi-öböl vizének hőmérséklete alacsony és viszonylag állandó, átlagosan 5 °C körül van; ez is lassítja a természetes bomlási folyamatokat, például a faanyagot bontó gombák is csak nagyon lassan képesek szaporodni, habár a Vasa árbócain súlyos károkat okoztak olyan gombafajok (pl. *Armillaria* fajok és a *Pleurotus ostreatus*), amelyek általában élő fákon nőnek.

A faanyag szilárdsága elsősorban a benne található cellulózrostok erősségétől függ. Egyes baktériumok még vízben oldott oxigén nélkül is képesek a cellulóz bontására, így a fából készült tárgyak mechanikai szilárdságának csökkentésére. Az ilyen körülményeknek kitett fatárgyak a vízben meglehetősen jó állapotúnak és ép-

nek tűnhetnek, de kiszáradás közben a víz elvesztésével a szerkezetük összeomlik. A Vasa esetében a hajó anyagának kémiai elemzése, mindenekelőtt a kén- és vas-tartalom arra utalt, hogy ezek a bakteriális

tartalmat toxikus kén-hidrogénné ( $H_2S$ ) alakítják. Az 1940-es években végzett első ilyen jellegű mérések során a Stockholmi-öböl vizében is jelentős mennyiségben mutatták ki az oldott kén-hidrogént, kon-



A Vasa kiemelés után, a számára kialakított dokkban

folyamatok elsősorban a faanyag vízzel közvetlenül érintkező felszínekhöz közeli, kb. 2 centiméter vastag rétegét érintették.

Az általában is igaz, hogy a tengerfenék közelében – a mikroorganizmusok jelenlétének, illetve a szerves anyagok kémiai lebomlási folyamatainak következtében – jóval kisebb az oldott oxigén koncentrációja, mint a tenger más részeiben. A Balti-tengerben ez a jelenség igen kifejezetten érvényesül: a tengerfenék mintegy egy-negyede „halott zónának” tekinthető, ahol gyakorlatilag nincsen oxigén.

A Stockholmi-öböl környezetében már évezredek óta élnek emberek, s ennek a következményei is elősegítették a Vasa fennmaradását. Az emberi szennyvíz jelentős része általában tisztítás nélkül került az öböl vizébe, amelynek egyébként a nyílt tengerhez való kapcsolódása nem nagy, háborús helyzetekben pedig gyakran szándékosan le is zárták a kijáratokat. A vízszennyezés a XIX. század elejére már igen nagy problémákat okozott a halászoknak: a korábban a zsákmány jelentős részét adó lazacok ekkorra gyakorlatilag eltűntek ezekből a vizekből. A víz szennyezettségének nagy szerepe lehetett abban is, hogy 1834–1835-ben jelentős kolerajárvány ütötte fel a fejét, Stockholm akkori 80 000 lakója közül majdnem minden tizedik áldozatul esett ennek. A szennyvizek mechanikai tisztítása csak 1941-ben kezdődött meg a környéken, majd 1970-ben kémiai és biológiai módszereket is használni kezdtek. Ennek látványos eredménye volt: már 1973-ban sikerrel telepítették vissza a lazacokat az öbölbe. Ez viszont már a Vasa kiemelése után történt.

A lebomlási folyamatok szempontjából fontos körülmény még, hogy a Balti-tengerben szokatlanul nagy a szulfátió koncentrációja. Oxigénhiányos környezetben egyes baktériumok képesek a szulfátiót oxigénforrásként használni, ekkor a kén-

centrációja általában 4 és 8 milligramm volt literenként, ami már a lebontást végző mikroorganizmusok számára is igencsak mérgező. Ezért is maradhatott a hajótest meglepően ép, de az így végbemenő kénfelhalmozódás egyben oka volt a később tapasztalható savasodási problémáknak.

Ezeket az információkat folyamatosan észben kellett tartani, amikor a hajó konzerválását és kiállításra való előkészítését végezték a szakemberek. A feladatra frissen diplomát szerzett archeológusokból állítottak össze tízfős csapatot a tapasztalt szakember, *Per Lundström* vezetésével,

Eleinte éjjel-nappal locsolták a roncsot, hogy megelőzzék a kiszáradást, amely a faanyag összeomlását okozhatta volna, ezért az archeológuscsapatnak folyamatosan vízhatlan ruházatban, kellemetlen, nedves hidegben kellett dolgoznia. Az első kihívás a mintegy 1000 tonnányi tengeri iszap eltávolítása volt. Közben nagy mennyiségben kerültek elő ilyen-olyan használati tárgyak: összesen 30 000 darab, ebből kb. négyezer pénzérme és a Vasa hat ki nem bontott vitorlájának a maradványai. Ezek megfelelő tárolása is nagy problémát jelentett, a csoport például ekkor vásárolta fel a Stockholmban fellelhető összes kiöregedett fürdőkádat. Eközben a bűvárok is folytatták a munkát az elsüllyedés helyén, ahol még kb. 10 000, a Vasaról származó tárgyat hoztak a felszínre.

A hajótest állagának megőrzéséhez azonban meg kellett oldani azt a problémát, hogy a faanyag kiszáradása egyben a faszervezet összeomlásához is vezet. Az 1960-as években erre nem volt ismert megbízható eljárás. A viking Oseberg hajó esetében – amelyet 1904-ben Norvégiában találtak – timsó ( $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ ) alkalmazásával próbálták megoldani ezt a problémát. Az eredeti elképzelés az volt, hogy a faanyagba kerülő timsókristályok biztosítják a szükséges mechanikai szilárdságot. A módszer azonban nem állta ki az idők próbáját: a külső páratartalom váltakozásának hatására a szilárd szemcsék rendszeresen átkristályosodtak és ez a folyamat már önmagában repedéseket képzett a faanyagban. Éppen az 1960-as években fejlesztettek ki egy új módszert

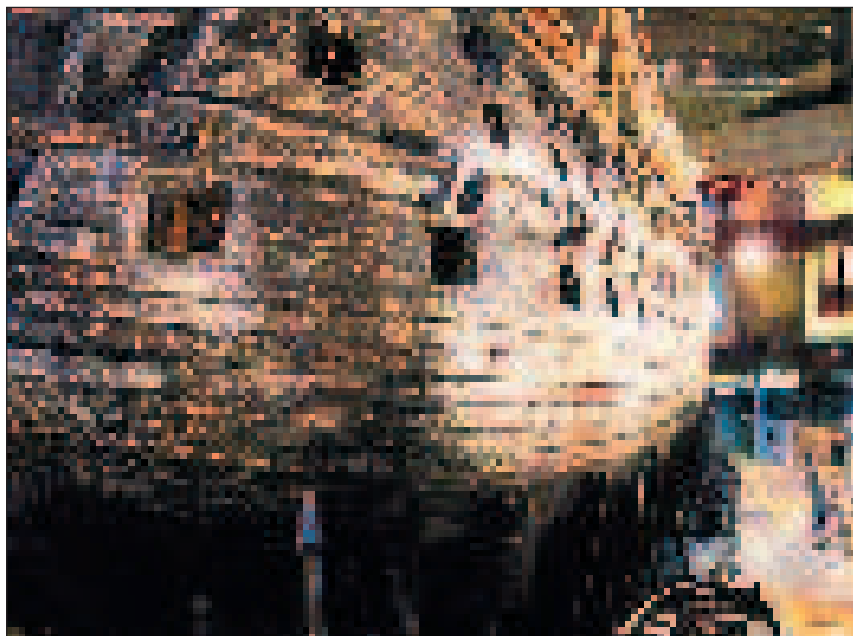


A Vasa Múzeum épülete

aki nem sokkal később a Nemzeti Hajózási Múzeum igazgatója lett. Elővigyázatosági intézkedésként a lelettel foglalkozó csapat minden tagja védőoltásokat kapott olyan, a XVII. században gyakori fertőző betegségek (például tífusz és tetanusz) ellen, amelyek kórokozói akár ilyen hosszú ideig is fertőzőképesek maradhattak a tengerben.

tengerből kiemelt fatárgyak konzerválására, amely polietilén-glikolt (PEG) használt. Ezt az eljárást viszont azelőtt még soha nem használták nagyméretű tárgyakon, így nagy óvatossággal, folyamatos vizsgálatok közepette kellett alkalmazni.

A polietilén-glikol egy ismétlődő egységekből álló óriásmolekula (vagyis polimer), kémiai képlete  $HO-(CH_2CH_2O)_n-H$ .



A Vasa hajóteste

hőmérsékletet, 60%-os páratartalmat biztosítottak, illetve a megvilágítást is állandó 50 lux körüli értéken tartották.

A gondos előkészületek ellenére, már 2000-ben komoly problémák mutatkoztak a hajótesten. Ebben az évben a nyár kivételesen esős volt, a múzeum légkondicionáló rendszere időnként nem volt képes arra, hogy a benti levegő relatív páratartalmát 65% alatt tartsa. Emellett sok helyen fehéres és sárgás foltok jelentek meg a faanyagban, s a fafelszín pH-ja igen savas irányba tolódott el. Ezen jelenségek miatt *Ingrid Hall-Roth*, a múzeum vezető kurátora már komolyan aggódni kezdett, és 2001 februárjára kétnapos tudományos összejövetelt szervezett vegyészek és archeológusok részvételével. Addigra néhány előzetes mérést már végeztek is a sókiválások kémiai összetételének vizsgálatára. A kristályos részekben natrojarozit ( $\text{NaFe}_2(\text{SO}_4)(\text{OH})_6$ ), melanterit ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ), rozenit ( $\text{FeSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ), gipsz ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), lekontit ( $(\text{K}, \text{NH}_4)\text{NaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), illetve elemi kén (S) voltak a fő komponensek. Már ezen vizsgálatok alapján is gyanítani lehetett, hogy a probléma eredete kettős: a vas és a kén.

A svéd tudósok rendkívül nagy erőfeszítéseket tettek a jelenség megértésére és a gondok orvosolására. A Vasa faanyagának

A monomeregységek számát a képletben  $n$  jelöli, ez a gyártás körülményeinek változtatásával szabályozható. A PEG sok szempontból hasonlít a hétköznapi nagy mennyiségben felhasznált műanyagokhoz, mint a polietilén (PE), polipropilén (PP), polisztirol (PS) vagy polivinilklorid (PVC), egy tulajdonságában viszont nagyon eltérő azoktól: a sok oxigénatomnak köszönhetően igen jól oldható vízben. A PEG molekulái képesek mélyen behatolni a faanyagba, s ott a szerkezetben helyettesíteni a vízmolekulákat, így a szerkezet összeomlását megakadályozni. Emellett szintén előnyös tulajdonság, hogy a PEG lehetővé teszi egyes ionok és kis molekulák mozgását is az anyagban,

keverékének a vizes oldatát juttatták folyamatosan a Vasa faanyagának a felszínére, míg 1971-től 1979-ig PEG 600-at ( $n \approx 13$ ) használtak. Az utóbbi nyolc évben a kezelőoldat polimerkoncentrációját fokozatosan 10%-ról 45%-ra növelték, s közben a későbbi gombásodás megelőzése céljából bórsavat és bórsavat is adalékoltak. Az összesen 17 évig tartó konzerválási folyamat alatt mintegy 250 tonna PEG-et használtak fel. A kezelés befejezését elhatározó szakmai döntés azonban koránt sem volt egyhangú: *Lars Barkman*, a konzerválást végző csoport akkori vezetője például határozottan azon a véleményen volt, hogy még mindig tovább kellene folytatni azt, s ezért röviddel a végleges döntés jóváhagyása után le is mondott.

Az 1979-es évet követően egy bő évtizedig száradni hagyták a hajótörzset, természetesen eközben is folyamatos vizsgálatokkal követték a folyamatot. Összesen mintegy 580 tonna víz távozott

ez alatt az idő alatt, de a PEG-es kezelés eredményeként az anyag zsugorodása nem haladta meg a 6–8%-ot, a szerkezet ép és mechanikailag stabil maradt. A múzeumot 1990. június 15-én, vagyis a Vasa kiemelése után bő 29 évvel nyitották meg. Addigra az optimális körülményeket is meghatározták: az múzeum épületében 20 °C-os



A Vasa tatján lévő fafaragások

részletes vizsgálatára a kémiai analízis olyan módszereit vetették be, amelyeket egyébként ritkán alkalmaznak rutinszerűen. A röntgensugárzásnak a használata ugyan igen kiterjedt a gyakorlatban (gondoljunk például a kórházakban gyakori röntgenkészülékekre), de az ilyen módszerek csak akkor használhatók könnyen, ha egyetlen szokásos röntgencső



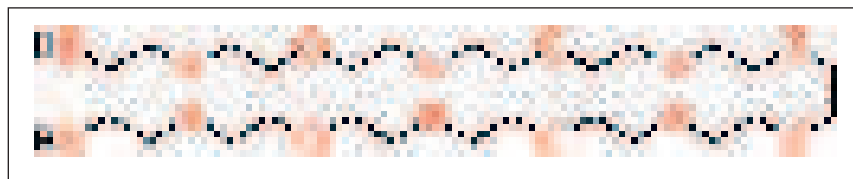
Fedélköz a Vasán

egyfajta oldószereszerű sajátosságai vannak. A polimermolekulák pontos tulajdonságai függenek attól is, hogy mennyi a kémiai képletben az  $n$  szám értéke. A kereskedelmi forgalomban általában az átlagos moláris tömeg megadásával jellemzik a termékeket. Az 1962 és 1971 közötti időszakban PEG 4000 ( $n \approx 90$ ) és PEG 1500 ( $n \approx 34$ )



A Vasa fedélzete

által kibocsátott sugárzás elegendő hozzájuk, vagyis nem kell a sugárzás energiáját is szabályozni. Ha viszont ez mégis szükséges, akkor nagyon speciális módszerekre van szükség, amelyekhez a változtatható energiájú röntgensugárzást egy szinkrotron biz-



A PEG 600 egy jellemző molekulájának szerkezeti képlete (n=13)

tosítja. Ez lényegében egy hatalmas méretű részecskegyorsító, amelyből manapság nagyjából 50 létezik a világon (Magyarországon például nincs is ilyen), de ezekből csak néhány alkalmas kémiai elemzésekre is. Így a svéd kutatóknak a Vasából vett mintákat San Franciscoba kellett szállítaniuk a vizsgálatok elvégzéséhez. Ezek során elsősorban azt tanulmányozták, hogy a kén milyen mennyiségben és milyen mélységben jutott be a faanyagba. A fa ugyanis önmagában csak nyomokban tartalmazza ezt az elemet, a Vasaban talált sok kén csak a Stockholmi-öböl szennyezett vizéből épülhetett be a hajótestbe.

Azt tapasztalták, hogy a vízzel közvetlenül érintkező felszíni rétegekben lényegesen több kén van, mint a mélyebben fekvő részekben. Ez önmagában is bizonyítja, hogy a kén évszázadok alatt, kívülről került a faanyagba a mikroorganizmusok lassú működésének következményeként. A mérések tanúsága szerint mintegy 2,5 tonna kén halmozódott fel a roncs anyagában, de ez nem eredményezett nagyobb kémiai változásokat az oldott oxigéntől majdnem mentes vízi környezetben. Kiemelés után azonban a

levegő oxigénjének hatására megindult az az önként végbemenő kémiai folyamat, amely során a kén tartalomból kénsav képződik. Ez a reakció általában lassú, még évtizedek alatt sem feltétlenül okozna problémákat. A Vasaban viszont elég nagy számban vannak vasalkatrészek, amelyek jó részét a konzerválás közben újakra cseréltek, mert az eredetiek a tengervízben nagyon elrozsdásodtak. A vasról ismert, hogy gyorsítja a kén kénsavvá való oxidációját. A vizsgálatot végző tudóscsoport bec-

lései szerint összességében évente nagyjából 100 kg kénsav keletkezik a Vasaban, s így keletkeztek a szulfátionokat nagy mennyiségben tartalmazó sókiválások is. A fő gond az, hogy a kénsav hatására a faanyag túlnyomó többségét alkotó cellulóz molekulái ki-

sebb darabokra bomlanak, s így az egész test mechanikai szilárdsága csökken. A probléma súlyosságát tovább fokozza az a tény, hogy a sav ezt a bomlást úgy gyorsítja fel, hogy közben a mennyisége nem csökken. További kezelések nélkül a Vasa idővel fokozatosan szétporladna.




A Vasa makettje

A sókiválások és a savasodás viszont a látszat szerint nem fokozatosan kezdődtek, hanem meglehetősen hirtelen, a 2000-es évben. Ennek a magyarázatát is sikerült megtalálni: ahogy már szó volt róla, a konzerválás során a PEG mellett bóraxot is használtak

gombaölőszerként, amely jelentős mennyiségű savat képes semlegesíteni. Így amíg a konzerválás tartott, a bórax mellékhatása mindíg elegendő volt a keletkező kénsav semlegesítéséhez, s a múzeum megnyitása után (ettől kezdve már nem vittek be bóraxot) még tíz évig tartott ez a védőhatás. A folyamatosan keletkező kénsav mennyisége viszont idővel meghaladta azt, amit a bórax semlegesíteni volt képes: ekkor néhány hónapon belül nyilvánvalóvá váltak a problémák.

Miután így sikerült megérteni a jelenség lényegét, a gond orvosolását is meg lehetett kezdeni. 2004-ben a korábbiál jóval hatékonyabbra cserélték a Vasa Múzeum légkondicionáló rendszerét, hogy ezzel a konzervált faanyag környezetét még állandóbbá tegyék. Ahol lehet, a vasból készült alkatrészeket eltávolították, illetve más, kémiailag ellenállóbb anyaggal, például epoxigyantával bevont szénzúlas kompozitokkal helyettesítették. A folyamatosan keletkező kénsavat rendszeres kezelésekkkel semlegesítik mind a mai napig. Ehhez manapság nem bóraxot használnak, mert gombásodási problémát még nem tapasztaltak, vagyis gombaölőszert sincs szükség. A jelenleg használt savmegkötő a szódabikarbóna ( $\text{NaHCO}_3$ ): ennek segítségével a savasodásnak leginkább kitett területeken, vagyis a farészek felszínén vízszára lehet állítani a közel semleges körülményeket. A legtöbb tudós azonban egyetért abban, hogy ez a kezelés csak ideiglenesen orvosolja a problémát és a Vasa állagának megőrzése érdekében további kutatásokat kell végezni.

A stockholmi Vasa Múzeum évente egymilliónál is több látogatót fogad. Internetes oldalai igen sok nyelven, köztük magyarul is olvashatók (<http://www.vasamuseet.se/hu>). A múzeumban folyó állagmegőrzési kutatások a jövőben hasonló roncsok kiemelése és kiállítása során felbecsülhetetlen értékűek lesznek. Egy hasonló méretű archeológiai megőrzőprogram éppen folyamatban is van: az 1982. október 11-én kiemelt brit Mary Rose köré épített múzeum már 2013-ban megnyitotta kapuit Portsmouthban, de a hajótörzs PEG-es kezelést követő szárítása a tervek szerint csak az idén nyáron fejeződik be. 

## Irodalom

- <http://www.vasamuseet.se/hu>
- M. Sandström, F. Jalilievand, I. Persson, U. Gelius, P. Frank, I. Hall-Roth, Nature 2002, 415, 893-897.
- M. Sandström, Y Fors, I. Persson, Tha Vasa's New Battle. Sulphur, Acid and Iron, Vasa Studies 19, The Swedish Maritime National Museums, 2003
- Y. Fors, Sulfur-Related Conservation Concerns for Marine Archaeological Wood, PhD értekezés, Stockholm University, 2008