

## Orosz Katalin: Biokodológia – Pergamen dokumentumok anyagvizsgálati módszerei

Az elmúlt évtizedben egyre nagyobb hangsúlyt kapott a konzerválás-restaurálás területén is a minimális beavatkozás elve, visszaszorult a vegyszerek használata és rengeteget fejlődtek a roncsolásmentes, vagy mikroroncsolással járó anyagvizsgálati módszerek. A nagyműszeres anyagvizsgálati módszerek segítségével egyre több információhoz juthatunk a műtárgyak, könyvek, levéltári dokumentumok anyagairól, állapotáról és történetéről, beleértve a korábbi használók nyomait és a javítások, restaurálási beavatkozások hatását is.

Az Európai Unió által finanszírozott és Dr. Matthew Collins vezetésével futó “Beasts to Craft” projekt<sup>1</sup> keretében természettudományos szakemberek, bölcészek és restaurátorok közösen dolgoztak ki egy anyagvizsgálati protokollt pergamen kódexekre. Ez a komplex vizsgálati eljárás az ún. biokodológia, ami a pergamen könyvek, dokumentumok anyagaira fókuszál.

Arra a kérdésre igyekeztek választ találni az oktatók és résztvevők, hogy a pergamenből készült könyvek, dokumentumok hogyan őrizhetők meg a jövő olvasói, kutatói számára fizikailag jó állapotban, egyúttal a rajtuk lévő biológiai nyomok megtartásával. Az utóbbiak által szolgáltatott információk ugyanis egyre nagyobb hangsúlyt kapnak a történeti és filológiai kutatásokban. A pergamen felületén lévő mikrobiom (a tárgyra került mikroorganizmusok génállománya) vizsgálata utal a tárgy készítésére, történetére, tulajdonosaira, használóira. Ezek a nyomok azonban a restaurálási-konzerválási eljárásokkal megváltoztathatók, eltüntethetők.

Az alábbiakban röviden összefoglalom a projektben kidolgozott és nemzetközi workshopokon ismertetett vizsgálati módszereket, és az általuk nyerhető információkat.

### Műszeres anyagvizsgálatokkal nyerhető információk

A műszeres anyagvizsgálatok célja a tárgy anyagainak, készítése technikájának megállapítása, illetve pontosítása és a pergamen, íróanyagok, segédanyagok állapotának meghatározása. Az elmúlt években egyre nagyobb hangsúlyt kaptak a roncsolásmentes vizsgálatok, azonban a rendelkezésre álló módszerek (XRF, Raman spektroszkópia, multispektrális analízis) az íróanyagok, pigmentek, bizonyos segédanyagok meghatározását tették lehetővé, de az állatfajra nem adtak információt. A pergamen kódexlapok, könyvkötések, oklevelek anyagát illetően több „hiedelem” él a mai napig a köztudatban. Mivel a pergamen készítésekor a bőr mindkét oldalát megcsiszolják, lekaparják, többnyire eltűnik a szőrtüszők által a bőrfelületen kirajzolt ún. barkarajz, ami az adott állatfajra jellemző, ezért az állatfajta meghatározása vizuálisan nagyon nehézé válik. Ez az oka annak, hogy különböző feltételezések láttak napvilágot a pergamen készítéséhez használt állatfajokról, például az oklevelek esetében a kutya bőr, kódexekben a szarvasbőr, a kis méretű ún. zsebbibliák rendkívül vékony finom lapjai tekintetében a meg nem született bárány és a mókus bőrének használata. Ezeket a feltételezéseket az elmúlt években végzett tömeges pergamen vizsgálatok megcáfolták.

Az állatfaj ugyanis genetikai vizsgálatokkal ma már pontosan meghatározható. A legújabb módszerek rendkívül kicsi mintából is pontos eredményt adnak, így az eljárás roncsolásmentesnek, vagy mikroroncsolásos eljárásnak mondható.

A MALDI TOF eljárás (Matrix Assisted Laser Desorption/Ionisation Time of Flight) egy gyors és olcsó<sup>2</sup> módszer az állatfaj meghatározására. A vizsgálat során a pergamenből vett fehérjemintát enzim segítségével kisebb egységekre bontják, majd a fehérjetöredékeket ionizálják és

<sup>1</sup> <https://sites.google.com/palaeome.org/ercb2c/home> (utolsó letöltés: 2022. december 5.).

<sup>2</sup> Az eszközpark beszerzése, a labor felállítása drága, de a vizsgálat ezután már néhány perc alatt elvégezhető, könnyen kiértékelhető ezért olcsó. (M. Collins személyes közlése), Hickinbotham et al, 2020.

„átröptetik” egy vákuumkamrán, melynek végén található a detektor. A kisebb részecskék gyorsabban röpködnek, a nagyobbak hosszabb idő alatt érik el a detektort. Az eljárás tehát az ionizált fehérje egységek tömege alapján azonosítja a fehérjét, és a fehérjeösszetételből állapítja meg az állatfajt, amiből a pergamen készült.

A másik módszer a DNS szekvenálás, amit régészeti leletekből nyert mintákon is egyre nagyobb sikerrel végeznek el. Az elmúlt évtizedben ugyanis óriási technológiai fejlődés ment végbe, emiatt exponenciálisan megnőtt a károsodott mintákból nyerhető genetikai adatok mennyisége és minősége. Elég csak a Szent László herma archeogenetikai vizsgálatára utalni, melynek eredményeként a fejedelmének foggyökeréből vett DNS minta szekvenálásával sikerült a kutatóknak meghatározni az uralkodó teljes génszekvenciáját.

A fehérjevizsgálat (proteomika) előnye a DNS vizsgálattal szemben az, hogy nemcsak az állatfajt és két egyed rokonságát azonosítja, de szervspecifikus. Míg a DNS minden sejtben azonos, a fehérjék a szervekre és a környezetre jellemzők, így lehetővé válik nemcsak az állatfaj, de azon belül a szerv azonosítása is. Például egy pergamen felületen lévő tojásfehérje kötőanyag esetében DNS vizsgálattal meghatározható az állatfaj (csirke), ugyanakkor a proteomikai eljárás emellett a tojásfehérjét is azonosítja (amit a DNS vizsgálat nem mutat ki)<sup>3</sup>.

Itt kell megemlíteni az ún. mikrobiom kutatást is. Az elmúlt évtizedben drámaian megváltozott a gondolkodásunk a minket körülvevő mikroorganizmusokról. A Humán Mikrobiom Projekt 2007-es indítása óta a mikrobák központi helyet foglalnak el az egészség és betegségek vizsgálatában, rávilágítva arra, hogy milyen mértékben függ ezektől a mikroszkopikus élőlényektől a mindennapi életünk. A mikrobiom (mikroorganizmusok csoportja egy bizonyos ökológiai niche-ben) jelen van az emberben és a minket körülvevő környezetben egyaránt, jellegzetes közösségeket alkotva a különböző földrajzi fekvésű helyszíneken. A pergamen dokumentumoknak is megvan a saját rájuk jellemző mikrobiomjuk, ami a készítésük, történetük és használatuk során alakult ki, s ami a restaurálással erőteljesen megváltoztatható vagy eltüntethető. Úgy képzelhetjük el ezt a felületi mikrobiomot, mint egy mikrobiotikus ujjlenyomatot, vagy aláírást, ami további információt szolgáltat számunkra a tárgy történetéről. Bár ennek az információnak a magyarázata még korai stádiumban van, a vizsgálati módszerek fejlődésével a közeljövőben minden bizonnyal nagy hangsúlyt fog kapni.

A tárgy állapotának meghatározására és bizonyos esetekben a károsodás okának feltárására többféle műszeres vizsgálat végezhető. Több évtizede végzik restaurátorok is az ún. zsugorodási hőmérséklet mérést, ami azt vizsgálja, hogy a kollagén fehérjérostok nedves közegben milyen hőmérsékleten zselatinálódnak (veszítik el kémiai szerkezetüket, bomlanak kis egységekre visszafordíthatatlanul). Az eljáráshoz néhány bőrrost szükséges, amit vízbe áztatva fűthető tárgyasztalú mikroszkópban vizsgálnak a hőmérséklet fokozatos emelése mellett, figyelve a rostok állapotát, mozgását. Az eljárás nem ad elég pontos eredményt, mivel a vizsgálatot végző szubjektív megítélésén alapul és nagy gyakorlatot igényel, ugyanakkor olcsón elvégezhető akár a restauráló műhelyben is. Újabban a kollagén hőstabilitását egy pontosabb nagyműszeres módszerrel, a differenciális pásztázó kalorimetria (Differential Scanning Calorimetry, DSC) eljárással vizsgálják. A néhány bőrrostot ebben az esetben is vizes közegbe helyezik és a hőmérséklet emelése közben elemzik a kollagén összetételét, végül megadják az ún. denaturációs hőmérsékletet (vagyis azt a hőmérsékletet, ahol a kollagénmolekulák fele lebomlik, a másik fele még ép). A kutatók felhívják a figyelmet arra, hogy a pergamen hőstabilitását befolyásolják a készítésének körülményei (például az évszak), a meszezés, krétázás mértéke (a bevitt szervesetlen sók, például kalcium-karbonát lassítják a denaturálódást) az állatfaj azonban nincs nagy hatással erre a tulajdonságra.

---

<sup>3</sup> Fiddyment et al, 2019.

A pergamen minőségére utal az ún. pergamen glutamin index, ami azt mutatja meg, hogy a kollagénfehérje oldalláncai milyen mértékben dezamidáltak<sup>4</sup>. Vagyis bizonyos aminosavrészek oldalláncai mennyire bomlottak meg és alakultak át savakká a pergamen készítésének első lépése, a meszezés során. A pergamen készítésekor az állati bőrt a nyúzás és mosás után meszes vízbe helyezik annak érdekében, hogy megduzzadjon, a szőrtüszők meglazuljanak (így később könnyen eltávolíthatóvá válnak a szőrszálak), a zsírok és kismolekulájú fehérjék kioldódnak, ezáltal egy jól tisztítható, kifeszíthető és vékonyítható anyagot nyerjenek. Amennyiben a meszezés túl hosszú ideig tart, a kollagénszerkezet sérül, a polipeptidekre jellemző aminocsoportok egy része felszakad, és savas csoportok keletkeznek. Ezzel megváltozik a fehérje kémhatása, hidrofíli tulajdonsága és csökken a bőrfehérje integritása, vagyis gyengébb minőségű lesz a pergamen késztermék. A glutamin index a fentebb leírt MALDI TOF eljárással azonosítható.

### Vizuális vizsgálatokkal nyerhető információk

A pergamen lapok vizuális megfigyelésével készítéstechnikai jelek, az állat anatómiai jellemzői, betegségei és a tárgy használatából adódó szennyeződések, elváltozások vizsgálhatók, valamint a kézirat vagy oklevél készítésének módja és anyagai. Ehhez csupán néhány egyszerű eszközzel (nagyító, lámpa, vonalzó, vastagságmérő, fényképezőgép) és a dokumentáláshoz számítógépre van szükség. Ahhoz azonban, hogy a jeleket értelmezni tudjuk, készítéstechnikai ismerettel (és lehetőleg gyakorlattal is) kell rendelkezni, valamint ismerni kell a pergamen és a rajta lévő íróanyagok tulajdonságait és károsodásait is. A módszert kollégáival publikáló<sup>5</sup> Jiri Vnoucek könyv-, pergamen- és papírrestaurátor a koppenhágai Királyi Könyvtár munkatársa a szükséges készségek és információk elsajátítása céljából évtizedek óta készít pergament és a „Beasts2Craft” projekt keretében több pergamenkészítő kurzust is szervezett restaurátoroknak, kutatóknak.

### Készítéstechnikai és anatómiai megfigyelések

A nyúzáskor okozott kis sérülések, apró bevágások a későbbi feszítéskor kinyílnak és kisebb-nagyobb lyukakká tágulnak. Néhány vágást még nyersen, nedvesen a feszítés előtt összevarrnak, hogy egyenletesen lehessen kifeszíteni és vékonyítani a nyersbőrt. Más bevágásokból keletkezett lyukakra pedig nyersen, vagy később már szárazon bőrfoltot rögzítenek. A lyukak, varrások alakjából, a szélek állapotából következtethetünk arra, hogy a feszítés előtti még nedves, vagy már a kész száraz pergament varrták-e.



Egy nedvesen összevarrott vágás, egy kitágult nem rögzített vágásnyom és egy szárazon rögzített szakadás/vágás.

Más nyomok is megfigyelhetők a pergamen felületén, például párhuzamos vonalak (csíkok) melyeket a holdkés okozott a pergamen vékonyítása során. Legtöbbször a pergamen felületi

<sup>4</sup> Nair et al 2022.

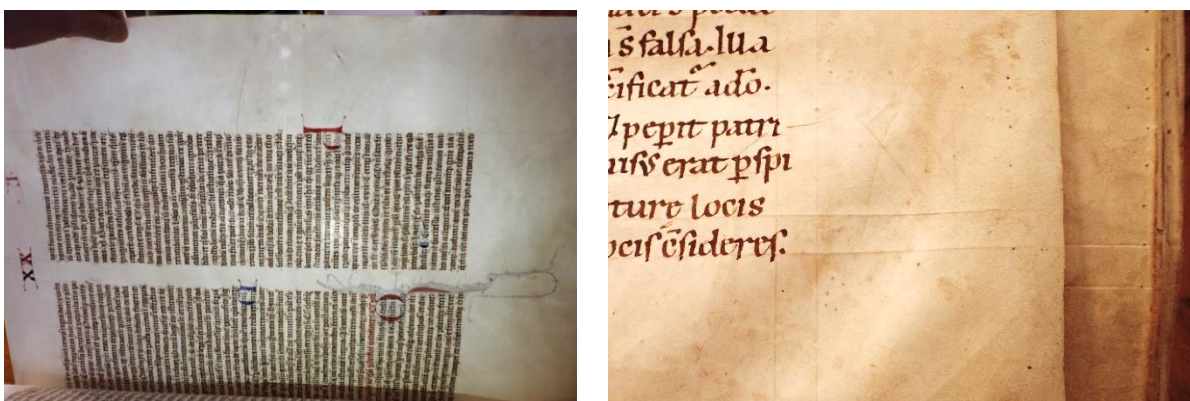
<sup>5</sup> Fournau et al 2020.

kezelései (szórtelenítés, húsolás, vakarás, vékonyítás, csiszolás) eltüntetik a (szőrszálak helyén mutatkozó kis gödrök által kirajzolt) barkarajzot, ezért más jellemzőket kell keresni az állatfaj meghatározására. Ilyenek lehetnek például a pergamen rugalmassága, keménysége, a könyvekben a lapszélek görbülése (íves meghajlása) nyitáskor (a környezeti klíma hatására). A pergamen vastagsága szintén fontos adat, amit javasolt dokumentálni.



A holdkés nyomai a pergamen felületen és a barkaoldal felé ívesen meghajlott könyvlapok.

Az állat anatómiai jellemzőinek megfigyelése alapján meghatározható, hogy az állat mely részéből készült a pergamen (például a csípőcsontok felső része és a gerincsigolyák fölött vékonyabb a bőr). A csípőcsontok távolsága egymástól és a farokcsigolyától az állat méretére és korára ad információt. A gerincvonal és a has elhelyezkedése mutatja, hogyan vágták szét a bőrt és készítették a lappárokat, illetve ezekből az íveket a könyvben. A hús és barkaoldal megállapítása szintén fontos, mert ez a történeti kódexkészítő módszerekhez köthető (ide tartozik még a szöveg írása előtti vonalazás és tűszúrásos jelölés is), és ezek az információk a különböző scriptoriumok kéziratkészítő eljárásainak megértését segítik elő. Ezek a nyomok a különböző megvilágításban (ráeső, áteső, súrló fény) vizsgálva állapíthatók meg.

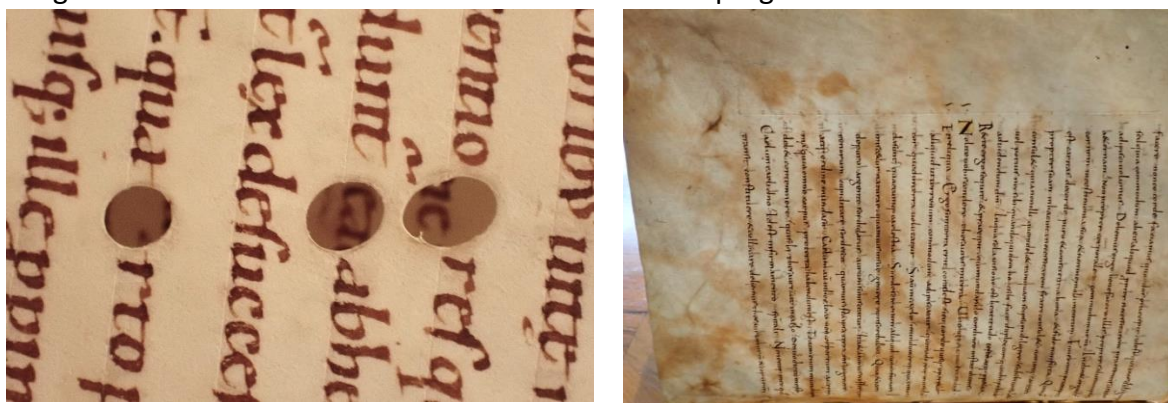


Az állat farokcsigolyáinak és csípőcsontjának nyomai (világos foltok) egy kódexlapon és az írás előtti vonalazás és tűszúrások egy lapszélén.

A középkori kódexek készítéséhez a fatábla, fűzőcérna és zsineg, valamint a fém kapcsok, veretek kivételével állati eredetű anyagokat használtak. Ezek voltak: timsós cserzésű bőr, pergamen, növényi cserzésű bőr, szőr, selyem bélés (előzékűkör), halenyv, kazein ragasztó, tojásfehérje (kötőanyag), méhviasz, sőt állati bél fűzőanyagként. Vizsgálható a könyv szerkezete,

az alkotóelemek rögzítése és anyagai. A szerkezetet alkotó különböző bőrtípusok azonosítása információt adhat a könyv nyithatóságáról, valamint arról is, hogy hol készült a könyv, és milyen képességek kellettek hozzá, illetve milyen helyi készítésechnikai eljárások, eszközök, körülmények voltak. Adatokat nyerhetünk az anyagok kereskedelmi beszerzéséről is.

Végül a pergamen dokumentum szemrevételezésének segítségével az állat egészségi állapotára is következtethetünk. A különféle betegségek és paraziták sebeket okozhatnak az állat bőrén, a hegek pedig megmaradnak és a pergamenen is láthatóak. Az állatfaj meghatározása után a hegek vizsgálatával lehetővé válik a kórokozó, illetve a betegség azonosítása, hiszen a különféle kórokozók más-más módon károsítják a bőrt. Például a közönséges marhabagócs (*Hypoderma bovis*) kártétele régóta azonosított a pergamenen, mert az általa fúrt légzőnyílások és a kirepülőnyílás is jól látható, össze nem téveszthető nyomként (kis, kerek lyukak az állat gerincvonalában) mutatkozik a borjúbőrön. Jelenleg két egyéb fő középkori birkabetegség, a rüh és a bányahimlő nyomait vizsgálják a juhpergameneken. A pergamen készítésére és az állat állapotára egyaránt utalhat a vérnyomok jelenléte a kikészített bőrben. Előbbi esetben a nem megfelelő kivéreztetés miatt az erekben maradt vér látszik barnás vonalak formájában. Utóbbi esetben pedig az állatot ért mechanikai hatás, ütés során keletkezett bevérzés marad meg a kollagéntrostok között és mutatkozik barna foltokként a pergamenben.

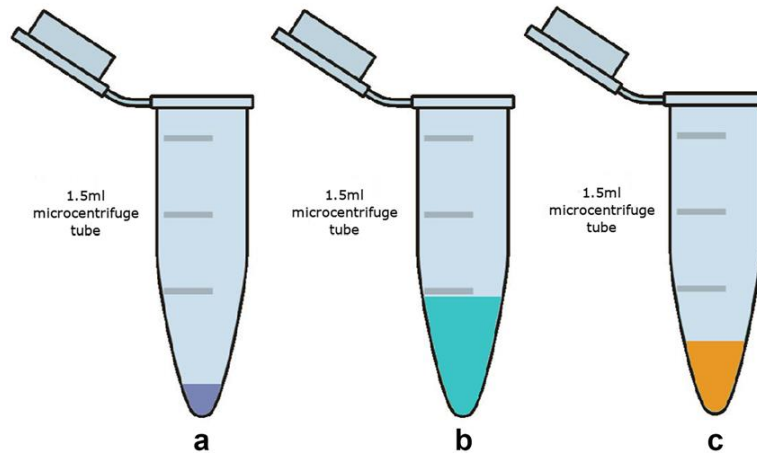


A marhabagócs kártétele egy pergamen kéziratán és vérfoltok nyoma egy könyvlapon.

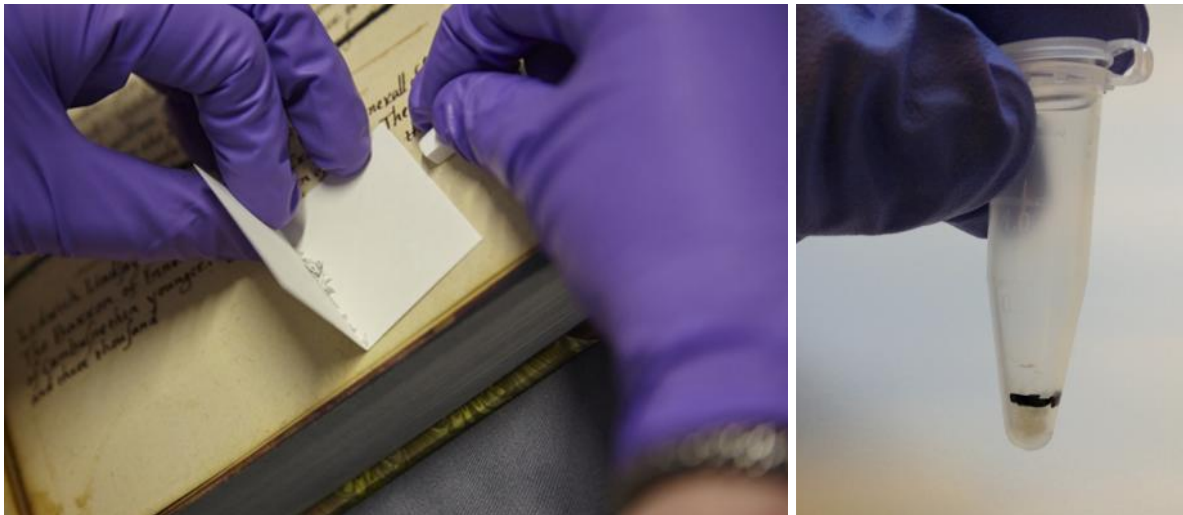
### A vizsgálati sor megtervezése, mintavételi szükségletek

A kéziratok, oklevelek rendkívül értékes dokumentumok, ezért vizsgálatuk szigorúan szabályozott, a könyvtáros, levéltáros és restaurátor szakembereknek együttesen kell dönteniük (a lehetséges vizsgálati eljárások ismeretében) arról, milyen kérdésekre keresik a választ, és azt milyen módszerekkel kaphatják meg. A vizsgálati sor meghatározásakor minden esetben a roncsolásmentes vizsgálatokat kell előnyben részesíteni, és a roncsolással járó eljárásokat nagyon alaposan meg kell fontolni. A legszignifikánsabb fejlődés a kéziratok biomolekuláris analízisében egy újszerű, a projekt keretében kifejlesztett mintavételi eljárás volt. Ez lehetővé tette több ezer, eddig nem vizsgált pergamen dokumentum analízisét a restaurátorok és kurátorok jóváhagyásával.

Az új mintavétel dörzselektromos kinyerésen alapul, ami egy minden restauráló műhelyben megtalálható PVC radírral végezhető. A dokumentumból in situ lehet mintát kinyerni enyhe radírozással kb. 1-2 cm<sup>2</sup> felületről, majd a radírmorzsa összegyűjtésével. A mintát nem szükséges speciális körülmények között vagy eszközben tárolni. A későbbi analitikai eljárástól függ a szükséges minta mennyisége.



A különböző analitikai eljárásokhoz szükséges mintamennyiség egy 1,5 ml-es mikrocentrifuga mintatartályban a) eZooMS, b) az állat és a mikrobiom DNS analízise, c) mikrobiom vagy fehérjeanalízis.<sup>6</sup>

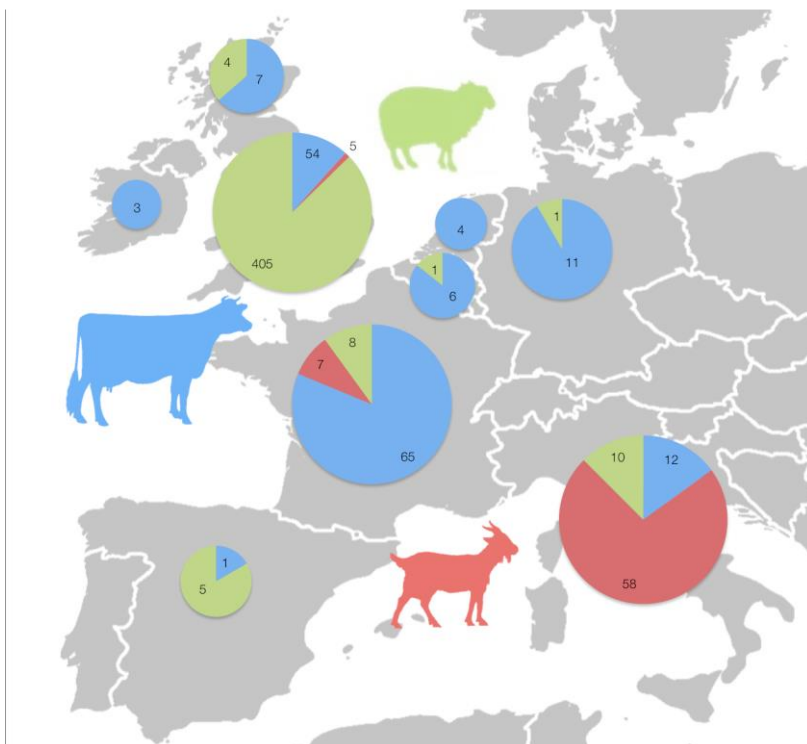


A dörzselektromos mintavételt kesztyűben végezzük, minden mintához új radírdarabot és kartonlapot használva.

A legkevesebb minta az ún. eZooMS eljárásnak elnevezett tömeges peptidujjlenyomat vizsgálathoz szükséges, ekkor minden, a pergamen felületéről nyert fehérje azonosítása megtörténik, amiből az állatfaj is meghatározható, de adott esetben egy ragasztó- vagy kötőanyag is kimutatható, és a pergamen minőségére is következtethetünk (glutamin index). Ha nagyobb mennyiségű radírmorzsát tudunk nyerni a felületről, akkor DNS vizsgálat is végezhető, ami mikrobiológiai jelenlétre is ad információkat.

A fent említett több ezer dokumentum vizsgálatának eredményeként kirajzolódott egy kép arról, hogy Európa különböző országaiban milyen állatok bőrét használták leginkább pergamen készítésre. Az is egyértelművé vált, hogy a juh, kecske és borjú mellett más állat bőrét nagyon ritkán használták, ilyen volt például a szarvas, és egyáltalán nem készítettek ki magzati bőrt, sem kutya-, vagy mókus bőrét.

<sup>6</sup> Forrás: Fiddymet et al, 2019.



Juh, kecske és borjú pergamen használata Európa különböző országaiban a középkori dokumentumokhoz.<sup>7</sup>

A készítéstechnikai kísérletekből és a korabeli kereskedelmi és állattartási feljegyzésekből kiderült, hogy minimum 3 hónapos korig tartották az állatokat (például juhot, kecskét), hogy adjon használható mennyiségű húst. A nagyon vékony, finom, jó minőségű pergamenlapok (az ún. zsebbibliákhoz) tehát fiatal állat vékonyabb bőréből készültek, amit aztán még tovább vékonyítottak, csiszoltak. A bőr gépi hasítását csak a 19. században kezdték, előtte kézzel vékonyították, kaparták, csiszolták a kifeszített megszáradt pergament, így alakítva ki a végső felületet.

### Korábbi javítások, restaurálási beavatkozások hatásainak vizsgálata

Közismert tény, hogy a restaurálás fiatal szakma, tulajdonképpen a 19. század végén kezdték el komolyabban tanulmányozni a környezetnek a tárgyak anyagaira gyakorolt hatását, a szerves és szervetlen anyagok lebomlását, károsodását. A beavatkozások eleinte főként esztétikai célúak voltak, arra törekedtek, hogy a tárgy (dokumentum) szebben nézzen ki a beavatkozás után, mint előtte volt. Igyekeztek a szennyeződések, foltokat eltüntetni, ezen kívül a pergament fertőtleníteni és megerősíteni. Az esztétikai szempontok miatt gyakori volt a túltisztítás, akár felületi csiszolás is. Ezzel sok biológiai információ (a mikrobiom) eltűnt a tárgyról. Fontos cél volt a megkeményedett, deformált pergamen puhítása, lágyítása és kisimítása is. Ehhez alkoholos oldatokat és ragasztókat alkalmaztak. A puhítást leggyakrabban folyadék állapotú etil- vagy metilalkohollal tamponálással végezték, a megerősítéshez szintetikus ragasztókat (például zaponlakkot, folyékony nylont, poli-vinilacetát diszperziót), keményítőt, vagy formaldehiddel keményített zselatint használtak. Az alkoholos kezelés és a ragasztóval történő átkenés hatására a mai tudásunk szerint a pergamen felülete kisebb-nagyobb mélységig zselatinálódhat, a marhabőrből készült zselatin pedig idővel keresztkötéseket létesít a pergamen kollagén anyagával, így mintegy beépül a bőrszerkezetbe. Ezáltal egy későbbi vizsgálatkor úgy tűnhet,

<sup>7</sup> Forrás: <https://sites.google.com/palaeome.org/ercb2c/home> (utolsó letöltés: 2022. december 5.).

mintha a pergamen keresztmetszetében félig marha félig juh bőréből lenne. A pergamen károsodásához vezet bizonyos segédanyagok például az ecetsav alkalmazása, amit fertőtlenítés céljából adtak a ragasztóhoz.

A teljes felületen végzett tisztítás és megerősítés eltüntette a korábbi használati és a készítés bizonyos nyomait, ezért ma az ilyen beavatkozásokat már kerüljük.

Összegezve elmondható, hogy a pergamen kéziratok, dokumentumok egyfajta időkapszulaként foghatók fel, melyben az információnak csak egy részét képezi a szöveg. A pergamenből és annak felületéről kinyerhető adatok az állatról, az alkalmazott készítéstechnikai eljárásokról és anyagokról, az időjárás viszonyokról, állattenyésztésről és kereskedelemről, valamint a tárgy tulajdonosairól, használóiról (beleértve a későbbi kor kutatóit is) tájékoztatnak bennünket. Reményeink szerint, ha megőrizzük ezeket a jeleket, akkor a közeljövőben sok érdekes adattal bővíthet a tudásunk. Ennek érdekében javasolt a pergamen dokumentumokhoz nitril, vagy pamutkesztyűben nyúlni (hacsak nem akarjuk a saját DNS-ünket is az utókorra hagyni) és nagyon kíméletesen, körültekintően konzerválni.

### Felhasznált irodalom

Doherty, S., Alexander, M.M., Vnoucek, J., Newton, J., Collins, M.J.: Measuring the impact of parchment production on skin collagen stable isotope ( $\delta_{13}\text{C}$  and  $\delta_{15}\text{N}$ ) values. *Star: Science & Technology of Archaeological Research*, 2021., Vol 7, No 1., 1–12.

Engel, P., Collins, M.J., Fiddyment, S., Soto, C., Teasdale, M.D., Vnoucek, J.: Improved methods of authentication and the resulting shifts in decision-making in parchment conservation. *The Book and Paper Group Annual* 37, 2018., 21–29.

Fiddyment, S., Teasdale, M.D., Vnoucek, J., Lévêque, É., Binois, A., Collins, M.J.: So you want to do biocodicology? A field guide to the biological analysis of parchment. *Heritage Science*, 2019., 35, <https://doi.org/10.1186/s40494-019-0278-6>

Fourneau, M., Canon, C., Van Vlaender, D., Collins, M.J., Fiddyment, S., Poumay, Y., Deparis, O.: Histological study of sheep skin transformation during the recreation of historical parchment manufacture. *Heritage Science* 2020., 78.

Hickinbotham, S., Fiddyment, S., Stinson, T.L., Collins, M.J.: How to get your goat: automated identification of species from MALDI-ToF spectra. *Bioinformatics* 36 (12), 2020., 3719–3725. 9

Hofmann, C.: *The Vienna Genesis, Material analysis and conservation of a Late Antique illuminated manuscript on purple parchment*. Wien, 2020.

<https://www.vandenhoeck-ruprecht-verlage.com/themen-entdecken/sozial-rechts-und-wirtschaftswissenschaften/natur-landschaft/55417/the-vienna-genesis?c=1824>

Nair, B., Palomo, R.I., Markussen, B., Wiul, C., Fiddyment, S., Collins, M.J.: Parchment glutamine index (PQI): A novel method to estimate glutamine deamidation levels in parchment collagen obtained from low-quality MALDI-ToF data. *bioRxiv: The reprint server for biology*, <https://www.biorxiv.org/content/10.1101/2022.03.13.483627v6>



Teasdale, M.D., Fiddymment, S., Vnoucek, J., Mattiangeli, V., Speller, C., Binois, A., Carver, M., Dand, C., Newfield, T.P., Webb, C.C., Bradley, D.G., Collins, M.J.: The York Gospels: a one thousand year biological palimpsest. bioRxiv: The reprint server for biology,  
<https://www.biorxiv.org/content/biorxiv/early/2017/07/24/146324.full.pdf>