

A papír lézerrel történő tisztítása (Egy kutatás alatt lévő módszer ismertetése)

Kapás Zsuzsanna *

Afordítás és átömörítés készült Doris Müller Hess, Karin K. Troschke, Jana Kolar, Matija Strlic, Wolfgang Kautek, Simone Pentzien: Laserreinigung von Papier. Zwischenbericht des Eurocare-Projektes 1681 LACLEPA című cikke alapján. (RESTAURO 8/2001 S. 604-610)

A papírral dolgozó restaurátorok számára nyilvánvaló tény, hogy a papírra, illetve a papírba kerülő környezetből származó, szürkés elszíneződést okozó, sokszor meghatározhatatlan szennyeződés eltávolítása milyen nagy gonddal jár. Ennek elsődleges oka a cellulózból felépülő papír szerkezete, – miszerint a papír egy porózus rostréteg, amelyben a szennyrészecskék egy háromdimenziósan hálózatot alkotó szerkezetbe épülnek bele, tehát nemcsak a durva felületi réteget alkotják. A szennyeződés nagy része belekerül a papírba, – fémtartalmú, nedvességszívó tulajdonságokkal rendelkezik és ezzel gyorsítja a cellulóz leépülését. A nemkívánt szennyeződések eltávolítása sokszor nem vihető véghez problémamentesen. A hagyományos száraz- (ecsettel, miniporszívóval, radírgumival és radírporral) és a nedvestisztítás (víz közreműködésével, detergenssel, oldószerrel, enzimmel, részben vagy teljes alámerítéssel) csak korlátozottan lehetséges, és nem mindig érjük el velük a kívánt eredményeket. A szennyeződés fajtája és összetétele gyakran nem meghatározható. Különösen nehézséget jelent a tisztítás az érzékeny rostréteget esetében (könnyű, vékony, gyengén enyvezett papír, kémiaileg leépült papírok, csökkent minőség, facsiszolattartalom) és a mechanikai sérülés következtében legyengült részeknél, valamint írásnál, rajzoknál, tinta- és festékanyagoknál.

*Nógrád Megyei Levéltár, Salgótarján

A restaurálási beavatkozásokra történő előkészítések, a tisztítás, mind olyan döntéshozatal, amely a tárgy esztétikai módon történő érzéki, tapasztalati megközelítése. A szennyeződések gyakran a befogadó történelem számára célirányosak, a tényleges használat nyomát tükrözik, ezért a konzervátori megfontolások ellenére sem távolíthatóak el (pl.: kivégzéskor keletkezett vérfoltok, vagy középkorból származó gyertyaviasz-nyomok stb), hiszen „ereklye” jellegük lehet. Az etikai szempontokat figyelembe vevő megfontolt döntéseket azonban tudományos megalapozottság kell, hogy irányítsa, – ezért egy nemzetközi tudományos társulás jött létre a célból, hogy a papír és a pergamen lézerrel történő tisztításának lehetőségeit kutassa, – annak előnyeit és hátrányait.

A kutatási program neve LACLEPA, azaz Laser Cleaning of Paper and Parchment. Milyen kérdéseket kell feltenni és feltételeket szükséges betartani ahhoz, hogy alkalmazhassuk a lézertisztítást? Okoz-e a lézersugárzás közvetlen, valamint hosszútávon bekövetkező károsodást a papír anyagában? A kutatási projektek nagy elővigyázatossággal tanácsolják ezt az új technikát használni, másrészt viszont még nem áll elegendő alapvető vizsgálati anyag rendelkezésre a lézer bevetésére a papírrestaurálás területén. A cél tehát a felhasználási irányvonalak meghatározása és olyan lézertípus kifejlesztése, amely használható a papírtisztítás folyamatában. Ezt illetően sokoldalú, le nem zárt vizsgálatok folynak a résztvállaló partnerintézményekben; bécsi, ljubljana, müncheni, berlini és vatikáni restaurátorok végzik a mintavételt és minősítést, a lézeres megmunkálás Berlinben történik, amelyet a Ljubljana Egyetem és a Könyvtárban elvégzett papíranalízis követ.

Miért alkalmazzuk a lézert? Ez az eljárás a következő előnyökkel járhat:

- a kijelölt részeket vagy rétegeket eltávolítja az alapfelületről anélkül, hogy az utóbbin módosítana,
- a szennyrészek „elpárologtatása” vagy anyagszerkezetének megváltoztatása lézer energiával történik,
- kapcsolatmentes, száraz eljárás,
- tárgyilagossá, meghatározható a lézer paramétereinek mennyisége.

Mint minden új és még ismeretlen eszköz használatakor, itt is meg kell tanulni, tapasztalni, érezni a lézert.

A lézer lexikális ismertetése röviden a következő. A lézer, mint szó, nevének rövidítéséből ered, azaz Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, – fénykibocsátás egyedüli hullámhosszon. Egy lézerközeget energiapumpával készítetnek kisugárzásra, és ez a lézerközeg a mindenkor hullámhossz meghatározója. Lézerközegeként, azaz közvetítőanyagként szóba jöhetnek:

- nemesgáz halogenidek (pl. a xenonklorid), amely Excimer lézerben és UV (ultraviola) tartományban bocsájt ki sugárzást,
- a szilárd testek (pl. Nd:YAG-Laser), az infravörös látható tartományban bocsájtanak ki sugárzást,
- a folyadékok (pl. színyanyagot tartalmazó lézer).

Különböző lézerek speciális tulajdonságokkal bírnak, amelyek meghatározzák a felhasználási területeiket:

- Lézeres tisztítás Online Diagnosztikával,
- Lézer-indukált Plasma Emission (kibocsátás) LIPS,
- Lézer-indukált Fluorescence, LIF

Sugároptika és kézi vagy automatikus x-y működtető a tárgy számára.

A fent említett három közeg: a gáz, folyadék és a szilárd test képes az ún. populációinverzióra; ez a lézer lényege. Energia-bevitellel, pl. villanólámpafénnyel, elektromos kisüléssel gerjesztett állapotba kerülnek atomjaik, molekuláik, amelyek párhuzamos tükrök között vannak, – a tükrök egyike visszaverő, a másik részben áteresztő. A tükrök által visszavert fény frekvenciája megfelel az alap és a gerjesztett állapot közötti energia-különbségnek, így az, a közegen áthaladva mindannyiszor erősödni fog és a berendezést a részben áteresztő tükrön át lézersugárként hagyja el.

Az irányított sugár a papírban lévő szennyréteget képes „eltávolítani” az alapfelületről anélkül, hogy magában a papír anyagában változást okozna. Száraz tisztítási eljárás, az objektivitás elvével működtetve. A lézer paramétereinek mennyiségét meghatározhatjuk. Az elmondottak alapján „nagyprecízitású radírgumi”, de alkalmazása továbbra is csak kompromisszumos megoldás lehet, mivel a szennyrészecskék kémiaiájukban hasonlóságot mutathatnak a hordozón lévő grafikai, színezési stb. technikákkal. Használatát kísérleteknek, próbáknak és gyakorlati tapasztalatoknak kell megelőzniük.

A lézeres tisztítás előfeltétele, hogy a lézersugárzást az adott anyagnak el kell nyelnie; így jöhet létre az anyagban a kívánt kémiai változás.

Ha azt akarjuk, hogy a papírt az eljárás ne változtassa meg, akkor a megtartandó papíralapanyag alfa elnyelési együtthatójának lényegesen kisebbnek kell lennie, mint az a választható együttható, ami az eltávolítandó részhez szükséges. Ez többnyire az az eset, amikor az optikailag színtelen cellulóz a látható színtartományban a lézersugárzás egy nagyon csekély mértékű elnyelését mutatja, míg a sötét színezetű szennyeződés magas értékben nyeli el a lézersugarakat.

A magas alfa elnyelési együttható úgy működik, mint egy csekély mértékű alfa -1

mélyreható fény, ami annyit tesz, hogy a felületspecifikus módszer a mélységet illetően nagyon pontos. Következésképpen, a magas elnyelési együtthatóval bíró szennyeződések rétegről rétegre levihető.

Mely lézer-paraméterek (segédváltók) fontosak?

Egy lézerimpulzus erősségének mértékét (egységét) Fluenz (F)-ben határozták meg, mint egységnyi felületenkénti pulzusenergiát, tehát $\text{Fluenz}(F) = \text{Energiasűrűség} = \text{J}/\text{cm}^2$, a lézer pulzusenergiája Joule-ban megadva, felületenként cm^2 -ben. F_{th} = Fluenz határérték, mindig az a küszöb, amelynek hatására az anyagra jellemző „leválás” megindul. A Fluenz határérték (F_{th}), anyagfüggő, kiszámítható, vagy gyakorlati úton meghatározható. Minden egyes anyag rendelkezik a reá jellemző leválási és roncsolási határértékkel. A szennyeződés eltávolítására irányuló F értéknek mindig alacsonyabbnak kell lennie, vagyis nem lépheti át a papír Fluenz határértékét, – ügyelni kell, hogy a Fluenz az un. megmunkálási tartományon belül legyen. Ellenkező esetben leépül a papír, visszafordíthatatlan elváltozás következik be. Mivel az anyagoknak más és más a leválási határértéke, így a bemérésekkel meghatározható tartomány, csak az adott területet, anyagot érinti.

$$F_{p.th} > F > F_{c.th}$$

Az $F_{p.th}$ adja a tisztítandó papíryanag leválási küszöbét, míg az $F_{c.th}$ az eltávolítandó szennyréteg leválási küszöbét adja meg.

Nem szabad elfelejtkezni e módszer veszélyeiről. Fontos rámutatni a szükséges besugárzásakor fellépő azonnali, valamint a hosszútávon, öregedés során fellépő károsodásokra. Esetleges károk keletkezhetnek a lézeres megmunkáláskor a papíron, a fény elnyelésének és az energia termelődéskor keletkező magas hőmérsékletnek a függvényében.

A lézer szerkezet domináns részének ismertetése. – A derékszögű sugárprofilnak köszönhetően a sugár egy cylinder (azaz henger) -lencsének a segítségével egy vonal-

ra fókuszálható, pontosítható. A lézer-sugár energiáját filterrel gyengítik. Egy közfilter áll (szűrő) lencséből és egy lyuk-fényrekeszből (Lochblende); ez arra szolgál, hogy a köztes sugárzásprofilnak a minőségét javítsa. A henger-lencsének egy derékszögű fedése következik, az, amely a lézersugarakat a tárgyra fókuszálja kb. 0,01 négyzetcentiméteres felületre, kb. 0,2×5,5 mm nagyságú foltra. Egy számlálóval irányított x-y tengely segítségével a megmunkálandó objektum két különböző irányban mozgatható. A mozgatási sebesség és az ismétlődés mértéke jellemző a megmunkálandó felületre. Az Excimer-Laser használatának előnye, hogy a kezelő szemének védelme érdekében egy teljesen átlátszó védőszemüveget visel, amellyel ellenőrizheti a színváltozásokat, megakadályozván a színhamisítást. Ezt egyébként szabály írja elő.

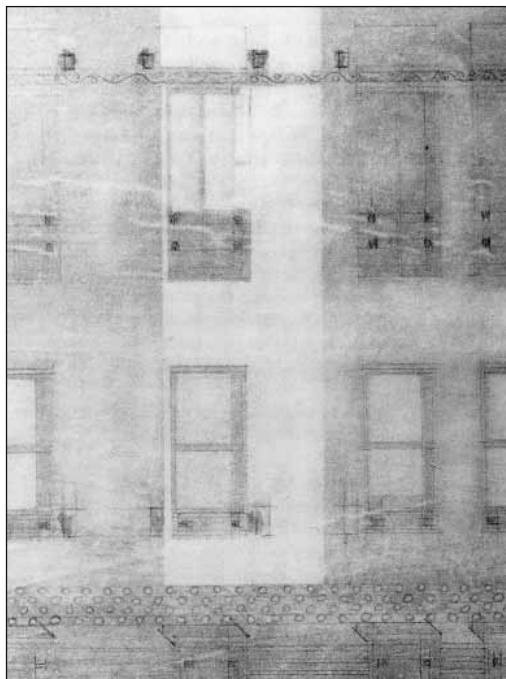
A kísérletek folyamán összességében nyolc különböző fajta papírt (három modell: Whatman.filterpapír-cellulóz, fehérített szulfátcellulóz-Royal Kraft, facsiszolat tartalmú papír és öt történelmi papír: rongypapír-1600-as évekből, nyomópapír fehérített cellulózból, lignintartalmú nyomópapír, felületkezelt lap, Fabriano rajzlap) vizsgáltak meg. Kettő lézertípust (Excimer és Nd:YAG) alkalmaztak, három hullámhossz (308 nm, 532 nm, 1 064 nm) mellett. A papírokat a kísérleteknél eredeti, valamint mesterségesen szennyezett állapotukban alkalmazták, vizsgálva a papír és a lézerefény egymásrahatását. (A mesterséges szennyezettséget úgy érték el, hogy nagyteljesítményű vákumasztalon a környező légkörből a port, piszkot a papírba szívatták.) Kipróbálásra kerültek a speciális foltok eltávolítása is, mint például: növényi-, penész-, öntapadóragasztószalag- és írásfoltok.

Tehát a lézersugár a papír tisztításakor az eltávolítandó rész, illetve a szennyeződés Fluenz határértékéhez, leválási küszöbéhez igazítható. Használható az eltérően felületkezelt papírok esetében, a por okozta szennyeződésekön kívül – golyóstoll, filc, elszíneződések, penészfoltok, ragasztóanyag-maradványok eltávolítására is.

A kezeléseket kísérletek előzték meg. A próbadarabokon rövidebb és hosszabb időtartamok alatt károsodásokat idéztek elő (a hosszútávút mesterséges öregítéssel kamrában provokálták), majd vizsgálták a viszkozitást, – amit a polimerizációs fok változása határoz meg –, továbbá a molekulásúly-megoszlást és a felületi fényesség változásait. Az összehasonlításokhoz a kezeletlen felületet ill. a keresztmetszetet vették alapul. A viszkozitás és a molekulásúly-eloszlás eredményei a papír teljes keresztmetszetében értendők, tehát relatív számot fognak jelenteni, mert itt az a réteg (nem felületi) is szerepel, amelyet nem kellett tisztítani. A felületi fényességben keletkezett változás viszont csak a ténylegesen besugárzott rétegre vonatkozik (síkra). A kezelés hatására a fényesség a legideálisabb esetben is csökken; ez az emberi szem számára lassú sárgulás formájában jelentkezik. A legjobb eredményeket az Nd:YAG-Laser 532 nm-nél, magasabb Fluenzek felhasználásával érték el. Különösen eredményes volt az eljárás a golyóstoll-, filctinta, továbbá bélyegző- és egyéb pecsétanyagok, fekete-penész redukálásakor. Ezek az alkotók az érzékeny papírfelület megtartása mellett is redukálhatóak voltak. Az Excimer-Laser 308 nm-nél (UV-tartományban) a papír cellulózanyagának fotóoxidatív leépülését feltételezi. Az Nd:YAG-Laser 1 064 nm-nél (IR-tartományban) a papír cellulózanyagának fototermikus leépülését eredményezi, amely kétségtelenül nem gyakorol hatást a papír mechanikai sajátosságaira. A legendyhebb elváltozás infravörös fényben kibocsájtott sugárzásokor jelentkezik. A viszkozitás mértékének, azaz, a polimerizációs fok csökkenésének a szempontjából is ez látszik a legideálisabbnak, valamint a molekulásúly eloszlást illetően is. A molekulásúlyeloszlás azzal jellemzi a leépülést, hogy növekszik. A polimerizációs fok csökken, a cellulózláncok rövidülnek, s mintegy ellentétes folyamatként a tisztított cellulóz térhálósodni kezd, ez okozza a súlynövekedést. Az enyhe sárgulás okát még vizsgálják a Nd:YAG-Laser 532 nm esetében,

hogy nem a cellulóz oxidációs reakciójával függ össze? Az eddig röviden leírtak mindössze az első vizsgálatok eredményeiről szólnak, további kísérletekre van még szükség.

A kutatók vélhetően, egy olyan típusú lézertisztítási mód alkalmazása mellett fognak dönteni, amely kevésbé okoz károsodást. Amennyiben figyelembe vesszük, hogy a radirozás mennyire megbolygatja a felületet, milyen pontatlan, a rostok közötti részhez meg el sem ér roncsolás nélkül, vagy ha a vizes-vegyszeres tisztításra, az azzal járó közömbösítési eljárásokra, szárítási, préselési és egyéb procedurákra gondolunk, akkor ennek az objektíven irányítható, száraz, a papírral szoros kapcsolatot nem teremtő, csak a szennyeződésre, – és itt a szennyezettség széles skáláját értjük, – koncentrálnak, nagypontosságú eljárásnak, a lézertisztítási eljárásnak van jövője. Jelenleg még nem áll rendelkezésre kidolgozott használható lézertisztítási eljárás.



Lézertisztítás egy átlátszó papír középrészén.
A trieszti zsinagóga vázlatja Otto Wagnertől. Bécs.