



ÓBUDAI EGYETEM

Rejtő Sándor Könnyűipari és Környezetmérnöki Kar

Médiatechnológiai és Könnyűipari Intézet

Papírlapok és papírlemezek megmunkálása lézervágó géppel

**OE-RKK
2023**

**Román Tamás
T-3076/FI12904/R**



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Óbudai Egyetem
Rejtő Sándor Könyvűipari és Környezetmérnöki Kar
Médiatechnológiai és Könyvűipari Intézet

SZAKDOLGOZAT FELADATLAP

Hallgató neve: Román Tamás

Szakedolgozat száma: [REDACTED]

Törzskönyvi száma: T-3076/FI12904/R

Neptun kódja: [REDACTED]

Szak: Könyvűipari mérnök levelező székhelyen kívül Székelyudvarhely

Specializáció: Nyomtatott média-, csomagolástervezés és technológia specializáció

A dolgozat címe: Papírlapok és papírlamezek megmunkálása lézervágó géppel

A dolgozat címe angolul: Processing paper sheets and paper plates with a laser cutting machine

A feladat részletezése:

1. Ismertesse a papírfeldolgozás és vágás folyamatát, technológiáit, dolgozza fel a vonatkozó szakirodalmat!
2. Részletesen ismertesse a lézervágás technológiáját és gépeit!
3. Végezzen vizsgálatokat a papírlamezek és kartonok lézervágással történő megmunkálására!
4. Munkáját, vizsgálatait a műszaki és tudományos vizsgálatoknak megfelelő módon dokumentálja, vonja le a megfelelő megállapításokat és következtetéseket!

Intézményi konzulens neve: Dr. Koltai László

A kiadott téma elévülési határideje: 2025. május 1.

Beadási határidő: 2023. 03. 15.

A szakedolgozat: Nem titkos.

Kiadva: Budapest, 2023. 02. 08.



[Signature]
Intézetigazgató

A dolgozatot beadásra alkalmasnak találom.

[Signature]
belső konzulens

[Signature]
külső konzulens



ÓBUDAI EGYETEM

Rejtő Sándor Könnyűipari és Környezetmérnöki Kar
Médiatechnológiai és Könnyűipari Intézet

HALLGATÓI NYILATKOZAT

Alulírott, Rezmén Tamás..... hallgató kijelentem, hogy a szakdolgozat saját munkám eredménye, a felhasznált szakirodalmat és eszközöket azonosíthatóan közöltem. Az elkészült szakdolgozatban található eredményeket az egyetem és a feladatot kiíró intézmény saját céljára térítés nélkül felhasználhatja, a titkosításra vonatkozó esetleges megkötések mellett.

Budapest, 2023. március 13.

hallgató aláírása

Tartalomjegyzék

Bevezetés	6
1. Elméleti rész	9
1.1 A lézer rövid története.....	9
1.2 A lézer felhasználási területei	10
1.2.1 Az ipar	10
1.2.2 Az egészségügy és a kozmetika	11
1.2.3 Az építőipar és a földtudományok.....	12
1.2.4 A kommunikáció	13
1.2.5 A közlekedés	13
1.2.6 A szórakozás és sport	14
1.2.7 A háztartások	15
1.2.8 A hadiipar	15
1.3 A lézer működése röviden.....	16
1.4 A papír feldolgozása a nyomdaiparban.....	19
1.4.1 Vágás	19
1.4.2 Stancolás, bigelés és perforálás	22
1.4.3 Hajtogatás	24
1.5. A lézer technológia alkalmazása a papírfeldolgozás területén	27
1.5.1 A lézerstancolás.....	27
2. Vizsgálati rész.....	29
2.1 A felhasznált anyagok és eszközök.....	29
2.2 Kötészeti szürkelemez.....	29
2.3 Hullámpapírlemez	29
2.4 Duplex karton.....	31
2.5 Bodor BCL-1309X.....	31
3. Vizsgálatok a papírlemez és kartonok lézervágással történő megmunkálására.....	34
3.1 Vizsgálati anyagok mérése.....	35
3.1.1 A négyzetmétertömeg mérése	35
3.1.2 A vastagság megállapítása.....	38
3.2 A lézervágógéppel való vágási vizsgálatok	38
3.2.1 A kasírozott kötészeti szürkelemez lézervágása.....	39
3.2.2 A hullámpapírlemez lézervágása.....	42

3.2.3 A kötészeti szürkelemez lézervágása	44
3.2.4 A duplex karton lézervágása	46
4. Összefoglalás	48
5. Summary.....	50
6. Köszönetnyilvánítás.....	51
7. Irodalomjegyzék	52

Bevezetés

A lézervágás technológiával néhány éve a jelenlegi munkahelyemen ismerkedtem meg, mert addig teljesen ismeretlen volt számomra. Ebből fakadóan az ezzel kapcsolatos ismereteim teljes egészében gyakorlati forrásból származnak. Az elméleti hiányosságok megszerzése és a kötészeti és csomagolásipari anyagok, ipari CO₂ lézer vágó géppel való vágásának a kutatása a célja a szakdolgozatom írásának. Szeretném megvizsgálni, hogy milyen módon helyettesíthető a hagyományos stancolás, perforálás eljárása lézervágó géppel? Milyen beállítások mellett érhető el a leghatékonyabb eredmény? Van-e helye a lézerstancolásnak a nyomda- és csomagolóiparban?

A lézervágással kapcsolatos vizsgálataimat egy a témában meghatározó piaci szereplőnél végeztem.

A székhelyudvarhelyi székhelyű Ani Tsupa Studio SRL-nél. Ez egy 2016-ban bejegyzet kisvállalkozás, melyet alapító embere vezet mai napig, felesége és szűkebb családi köre segítségével. A vállalkozás telephelye a 535600 Székelyudvarhely, Kadicsfalvi út 67. szám alatt található.

E vállalkozás vezetője Mednyánszky Simó Zsolt István, aki kezdetben egymaga dolgozott, majd a cég növekedése és egyéb feladatainak ellátása érdekében úgy döntött, hogy egy alkalmazottat foglalkoztató munkaadóvá válik. Így lettem néhány előző munkatárs után a cég egyetlen alkalmazottja 2019-ben.

A cég tevékenysége elsődlegesen lézervágó géppel, falemezből készített kisebb használati- és dísz tárgyak, valamint kreatív hobbi termékek, hűtőmágnesek és szezonális dekorációk előállítására vágással és/vagy gravírozással. Főként nyír- és nyárfából készült rétegelt, 3-4 mm vastag falemezeket használ alapanyagként, amelyek a végtermékek tekintetében lehetnek natúr vagy különböző pácokkal színezettek. Továbbá felhasználunk 3 mm-es MDF lemezt is a különböző címkék és hűtőmágnesek alapanyagaként. A folyamatos fejlődés megvalósításának érdekében kiegészült a tevékenységi kör nyomtatott címkékkel is a virágüzletek és kreatív dekorálók igényeinek kiszolgálása érdekében.

A világjárvány igencsak hatással volt az élet minden területére, így a vállalkozás tevékenységére is, arra sarkalta a cég alapítót, hogy más, az eddigiektől némiképp eltérő

területen próbáljon elhelyezkedni vállalkozásával, ezért ma már a reklámgrafika bizonyos részei, mint például az óriásplakátok, roll-up-ok, cégtáblák, utcai megállító (székely nyelven botlasztó) táblák külső arculati dekorációk tervezése és kivitelezése is a cég tevékenységi profiljába került.

Mára a cég eszközparkja egy nagyméretű lézervágó és gravírozó gépből, egy UV fénnnyel szárító síkágas nyomtatóból és egy nagyméretű plotternyomtatóból áll.

A lézervágó és gravírozó gép egy Bodor 150W teljesítményű, 1300 x 900 mm munkaterülettel rendelkező berendezés.

A síkágas nyomtató egy Mimaki UJF-3042FX típusú gép, melynek munkafelülete 300 x 420 mm. Hat festék kartus befogadására alkalmas, amelyek az alap CMYK színek mellett fehér és lakk vagy mosófolyadék kartusok lehetnek. A nyomtató felbontása 720 x 600 dpi-től 1440 x 1200 dpi-ig terjed.

A nagyméretű plotternyomtató a Roland gyár terméke, pontos neve SOLJET Pro III XJ-640. A munkafelülete 1600 mm széles. A nagymennyiségű nyomtatás érdekében tizenkét festékkartussal rendelkezik. Maximális felbontása 1440 x 1440 dpi.

A vállalkozás árkalkulációját nagyban befolyásolja a felhasznált nyersanyagok milyensége, mennyisége, mérete, vastagsága, valamint az előkészítő és utómunkálatok.

A nyárfából készült lemez, a karton és a különböző textília gyorsabban vágható, így a lézer munkaideje jóval kevesebb, mint ha nyír, bükk, MDF vagy plexi lemezből készülne a termék, ezek esetében lassabban tudja átvágni a lézersugár a lemezt, amely termék árában emelkedést okoz.

Ugyancsak a felhasznált időt növeli, s ezzel hat a termék árára a nyersanyag vastagsága is, mivel minél vastagabb az anyag annál lassabb sebességet és annál nagyobb erőt igényel a vágás. A megnövekedett munkaidő megnöveli a termék árát is. Ugyanakkor a termékek négyzetcentiméter területmérete is meghatározza az árat. Továbbá ármeghatározó az is, hogy az adott termék előállítása milyen és mennyi előkészületet igényel. Itt a grafikai tervezés, lapra szerkesztés, illetve néhány esetben a nyersanyag előkészítése e munkához tartozik. Előfordulhat ugyanis, hogy nyomtatás előtt csiszolni vagy alapozni kell a falemezeket. Az utómunkálatok során csiszolás, lakkozás, osztályozás, csoportosítás, csomagolás, postázás a feladat.

Mivel ez egy csendes, viszonylag kis kapacitású termék előállító műhely, így nincs, vagy csak ritkán van közvetlen kapcsolata végfelhasználókkal. Elsősorban kiskereskedelmi üzletekkel áll kapcsolatban melyek viszonteladóként vagy eladóként értékesítik a rendelt termékeket.

1. Elméleti rész

1.1 A lézer rövid története

A LASER (ejtsd. lézer) egy mozaik szó, mely **L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation megnevezésből ered. Magyarul fényerősítés indukált emisszió útján.

Története egészen 1917-ig nyúlik vissza és nem kisebb személyiséghez kapcsolódik, mint Albert Einstein, mivel ő volt az, aki az indukált emisszió elvi alapjait lefektette. A lézerhez azonban csak hosszas – az atom felépítéséről pontosabb ismereteket nyújtó – kutatások után jutottunk el. Így elengedhetetlen, hogy megemlítsünk még néhány nagyszerű fizikust, az amerikai Arthur Leonard Schawlow és Charles Townes valamint az orosz Alexander Prokhorov és Nikolay Basov, akik az 1950-es években úttörő munkát végeztek rövidhullámhosszú lézer elméletén, valamint beindítani egymástól teljesen függetlenül a lézert. Forradalmi munkájukat Nobel-díjjal jutalmazták 1964-ben. Theodore Harold Maiman amerikai mérnök és fizikus 1960-ban sikeresen észlelte a rubinon a lézereffektust. Még ez év őszén Ali Javan iráni-amerikai fizikus és feltaláló megépítette és bemutatta az első prototípus hélium-neon gázlézert a Bell Telephone Laboratories-ban. Ezzel minden elméleti tudás beigazolódott és átfogóbb kísérleteket lehetett kezdeni a világ számos laboratóriumában. [1] [2]

1.2 A lézer felhasználási területei

A lézer mára mindennapjaink elengedhetetlen részét képezik. Felhasználásuk szerint mindenhol megtalálhatjuk, de csak elviekben beszélhetünk ugyan arról a lézerről, gyakorlatilag felhasználási területüktől függően mindenik kicsit más. A lézert megtalálhatjuk ma már az iparban, legyen szó nehéz vagy könnyűiparról egyaránt. Jelen van a tudományos kutatásokban, az orvostudományban, a kommunikációban, a közlekedésben, a hadiiparban, a szórakoztatásban, az építőiparban, a talajkutatásban, és még a háztartásinkban is, s még sorolhatnánk tovább is hiszen egy jelentős találmányról van szó. De ehelyett nézzük inkább meg részletesebben egyes felhasználási területeit a teljesség igénye nélkül.

1.2.1 Az ipar

Talán az ipar területe az ahol a leginkább elterjedtek a lézerek. A jól fókuszálható sugarakban ugyanis hatalmas energiasűrűséget hozhatnak létre, s ezzel a fémipar, főként az autógyártás során a fémes anyag könnyedén vágható, fűrható, edzhető, gravírozható, vagy éppen hegeszthető. Előbb a szén-dioxid-, majd a neodímium-, a rubin- és az argonlézereket használták, teljesítményük miatt. Ma már a szállézer, a miniatűr lézerfejekről felimerhető diódalézer és a diszklézer is használatossá váltak.



1.1. ábra: Az iparban használt kisméretű gázlézer [3]

Alumínium és rozsdamentes lemeztáblákat, szerkezeti acélokat vagy éppen csöveket darabolnak a leggyakrabban segítségükkel. A járműiparban a bonyolultabb alakú alkatrészek vágását vagy hegesztését végzik lézerekkel, természetesen automatizált robotok segítségével. Ezen automatizálás a gyártás során teszi elengedhetetlenné a lézeres jelöléstechnikát, amelynek célja eltávolíthatatlan feliratozás, számozás, jelölés, vagy adatmátrixok létrehozása, a lézerforrás típusától függően akár mozgó alkatrészekre is.

A lézereket a nagyon kemény anyagok mellett a könnyű és nem fémes anyagok esetében is használják. Így a nehézipar mellett a könnyű-, a nyomda- és a reklámapar is használja, a hab, a textil, a fa, a plexi, az öntapadó fólia vágására és/vagy jelölésére. [4]

1.2.2 Az egészségügy és a kozmetika

A lézerszike már több évtizede használati tárgya műtéti beavatkozások során a kezelő orvosnak, de ma már a lézerek sok típusát használja az egészségügy. A köznyelvben csak „szoft” lézerek fájdalomcsillapító, sebgyógyító, gyulladáscsökkentő hatására felfigyelt egy magyar orvos már a hatvanas években. Ő volt Mester Endre, akinek a fia ma is radiológus orvos. A szájsebészet és a bőrgyógyászat elterjedten használja a nagyon kis teljesítményű, biostimulációs hélium-neon vagy félvezető lézereket.



1.2. ábra: Az egészségügyben használt gázlézer [5]

A kardiológiától a nőgyógyászatig, az onkológiától az urológiáig mindenhol találkozhatunk szén-dioxid, rubin, argonion sebészeti berendezésekkel. Legsikeresebb ágazata talán mégis a szemészet, ahol a zöld vagy kék színű félvezető lézerekkel retinaleválás, zöldhályog, rövidlátás kezelésére alkalmas műtéteket végeznek, amelyekre egy-két évtizede még esély sem volt.

Az orvosok közt elfogadott tény, hogy ahol a hagyományos szike használható, ott a „lézerszike” is, fordítva viszont ez már nem mindig igaz. [4]

1.2.3 Az építőipar és a földtudományok

Joggal gondolhatnánk, hogy az építőiparban vajon hogyan használhatnánk a lézer fénysugarat. De nem csak használhatnánk, hanem használjuk is. A magas- és mélyépítés elképzelhetetlen lenne építőipari lézerek nélkül. A szerkezetépítés, zsaluzás, szigetelés, csempézés során félvezető lézereket használunk.

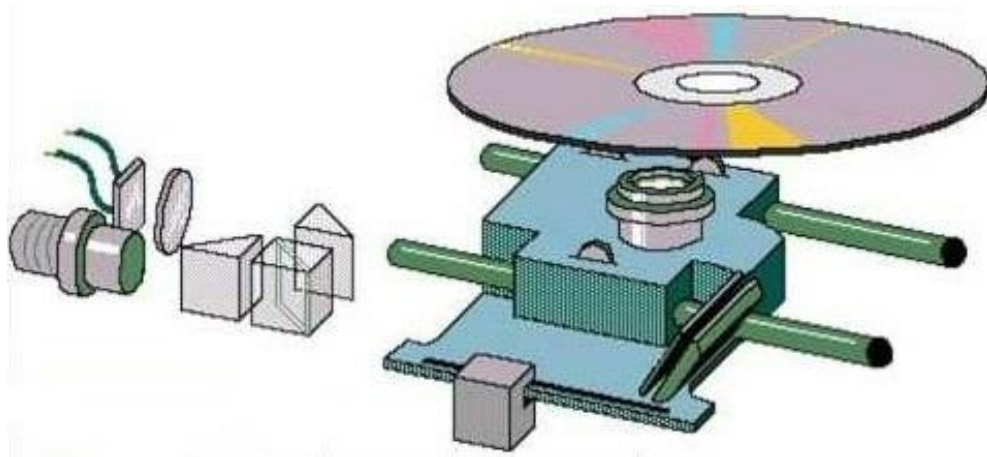


1.3. ábra: Az építőiparban használt lézeres távolságmérő és szintező [6]

A földtudományok területén az úgynevezett lézerradar vagy LIDAR (Light Detection and Ranging) használatos, amely egy optikai távérzékelő technológia. Alkalmazásakor a tárgyak igen pontos távolságát lehet meghatározni lézerfény impulzusok kibocsátásával. Ez a térképészet, a földrajztudomány, de a geológia és a geomorfológia és a régészet is szívesen használja. [4]

1.2.4 A kommunikáció

A kommunikáció is egy fontos felhasználási területe a lézernek, ugyan itt nem vágunk vagy forrasztunk a segítségével, hanem adatot továbbítunk. A világon már sokmillió kilométer hosszan lefektetett optikai kábelek vannak. A digitális információ fény formájában halad az optikai kábelekben, majd az árammá alakítja egy fotótranzisztor és így nézhetünk digitális tévéadásokat vagy internetezhetünk villámgyorsan. De ne feledkezzünk meg a CD/DVD író/olvasó fejről sem, amely ugyancsak lézert használ. [4]

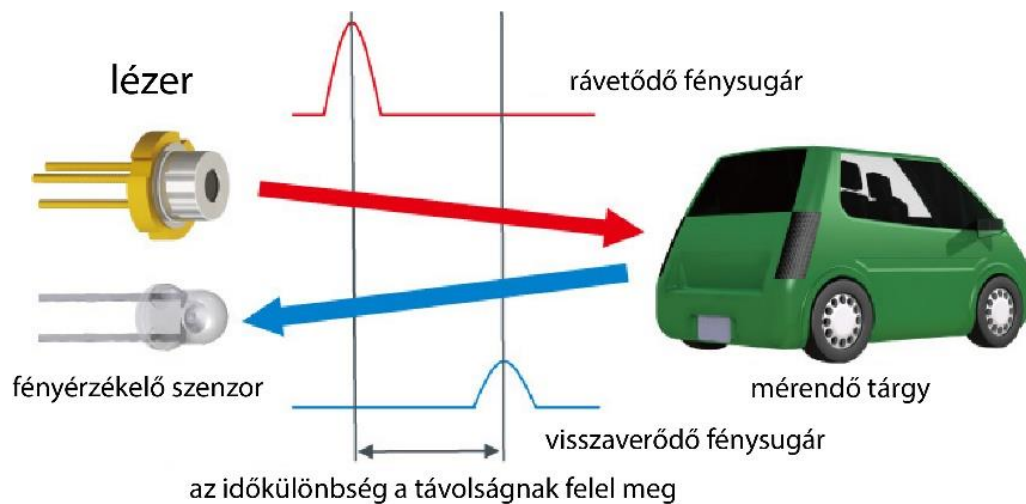


1.4. ábra CD/DVD író-olvasó [7]

1.2.5 A közlekedés

Aki gyakorta autót vezet annak biztosan mérte már a sebességét a traffipax amely – típusától függően persze – lézernyalábok segítségével akár kilométeres távolságból is képes megállapítani a jármű sebességét.

De ha modernebb, mai autót vezetünk, akkor biztosan segítségünkre vannak a vezetéstámogató rendszerek, mint például a távolságtartó tempómat, amely lézer segítségével méri az előttünk haladótól való távolságot. [4]



1.5. ábra: A közlekedésben használt sebességmérő készülék elvi vázlata [8]

1.2.6 A szórakozás és sport

A koncertek, diszkók, otthoni partik elengedhetetlen látványossága a lézershow. A lézer fénysugarak különböző színeivel és villódzásaival teszik látványossá az eseményt.

Megemlíthető érdekességgént, hogy néhány éve az öttusában az olimpián és a világversenyeken is lézerfegyverekkel lőnek célba. [4]



1.6. ábra: A háztartásokban és a szórakoztatásban is megjelenik a lézerfény [9]

1.2.7 A háztartások

Igen a háztartásainkban is jelen van a lézerfény akár az íróasztalunkon működő lézernyomtatóra gondolunk, mely lézerfényvel hozza létre a kívánt nyomtatást vagy a számítógépjeinkben dolgozó merevlemezek adattárolására gondolunk.

Egyre divatosabb a karácsony közeledtével házunkat mintás fénypontokba borítani. Ezt egy pár wattos félvezetőlézer-ágyúval tesszük. [4]

1.2.8 A hadiipar

Bár érthető okokból ezen felhasználási területe a lézereknek a legtitkosabb, azért tudjuk, hogy léteznek pilóta nélküli drónok, lézerirányítású bombák vagy szélesspektrumú lézernyalábok. Ez utóbbiakkal távoltarthatók a hőkövető rakéták és megsemmisíthetők az ellenséges műholdak, harci eszközök. [4]



1.7. ábra: A lőfegyverek célzását segíti a lézerfény [10]

Összeségében elmondhatjuk, hogy életünk minden területén találkozhatunk a lézerrel és mindig másként működik, de az elv ugyanaz. Saját véleményem szerint ez a legnagyobb találmány a gőzgép és a LED technológia között.

1.3 A lézer működése röviden

A lézerek alapvetően ugyanazon az elven működnek, de mivel nagyon sokféle a felhasználási módja és területe, így működésében is több eltérés figyelhető meg.

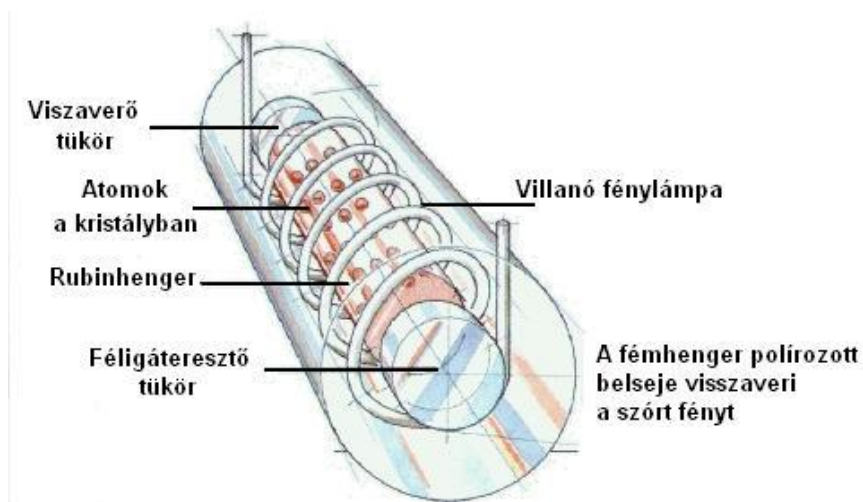
A lézer monokromatikus, koherens, kis divergenciájú, nagy spektrális teljesítménysűrűségű fényforrás. Ez a legfontosabb, egy fényforrás, amely azért monokromatikus, mert egyszínű. A fénynyaláb, amelyet kibocsát folyamatosan ugyanolyan színű. Lehet ugyan más-más színű a fénysugár, de akkor, ami kibocsátja is különböző. Koherensnek nevezhetjük, mivel az atomok azonos energiájú és azonos impulzusú fotonokat bocsátanak ki. Ez a koherencia csak egy bizonyos távolságtartományon belül igaz, ezt a távolságtartományt nevezzük koherencia hosszának, amely néhány mm-től akár km-ig terjedhet. Ezen tulajdonságoknak közös oka van, az hogy a lézerben indukált emisszió során keltjük a fényt, más fényforrásokkal ellentétben, ahol a fény spontán emisszió útján jön létre.

Alapvetően két típusa van a lézereknek. A gázlézerek és a szilárdtest lézerek. A gázlézerek nagy teljesítményű, ipari felhasználású lézerek. Lehetnek szén-dioxid vagy hélium-neon töltetűek. Gerjesztésük elektromos kisüléssel valósul meg. A szilárdtest lézerek kisebb teljesítményűek. Gerjesztésük lámpával, leddel vagy lézerdiódával történik. A szilárd test lehet rubin. Ilyen lézerért kapták a Nobel-díjat 1964-ben. Alkalmazása a sebészet, a lézerradar, a laboratóriumi eszközök mivel hatásfoka ugyan gyengébb, mint a gázlézereké, de annál pontosabb.

A dolgozat szempontjából a gázlézerek működése a fontosabb, mivel egy ilyen eszközt fogok használni a vizsgálataimhoz. [2]



1.8. ábra: A gázlézer tubusa [11]

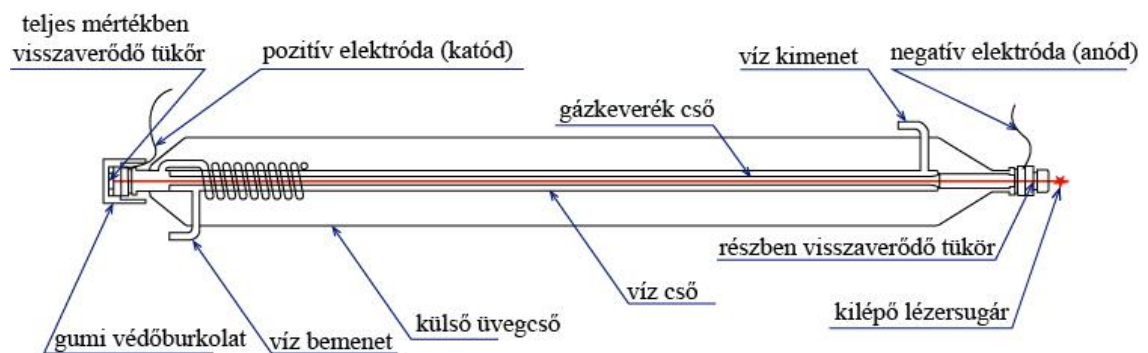


1.9. ábra: A szilárdtest lézer tubusa [12]

A gázlézerek felépítése a következő: van egy üveg cső, amelyben szén-dioxid gáz van. Vannak más gázok is a csőben, de ezek milyensége és mennyisége gyártótól függően változik és arányuk üzleti titok. Ezt a csövet egy vastagabb cső veszi körbe, amely szintén üvegből van. Ebben desztillált tiszta víz található. Ennek kettős szerepe van. Egyrészt segíti a fény teljes visszaverődését a cső belsejében, másrészt pedig hűti a belsejében futó gázzal töltött csövet, mely az indukálás hatására igencsak fel tud melegedni. Ezen feladata ellátása érdekében folyamatosan keringeti a csőben egy pompa, aminek segítségével elvezeti a folyadékot tubusból a hűtőberendezésbe, majd vissza. Ezt az építmény nevezzük szén-dioxid gázlézer tubusnak. A tubus két végén található két tükör, melyek tükröződési képessége eltérő. Pontosabban az egyik tükör picit gyengébb, mint a másik. Csak egy példa erejéig az egyik tükör 99%-os a másik 90%-os tükröződésű. A tubus két végén egy-egy elektróda található, amely 22000 V áramerősséggel gerjeszti a szén-dioxid gázt. Ezt az áramerősséget egy áramerősítő állítja elő 220 V-ból. Az áram által gerjesztett atom foton formájában bocsátja ki magából az energiát és a fény a két tükör közt verődik oda-vissza. Eközben a víz is segíti az útját a teljes visszaverődés által, ahogy ezt már említettem. Példámnál maradva így 10 visszaverődésből egyszer kiszabadul a foton a tubusból a kisebb tükröződésű tükrön át és ez maga a lézersugár. Ez az indukált emisszió.

Minden tubusnak van élettartama, amit munkaóra számban határoznak meg. Erre azért van szükség, mert csak addig képes lézer fényt kibocsátani, amíg több a gerjesztett állapotban levő atom, mint az alapállapotban levő. Ezt hívjuk populáció inverzióknak. Mivel a lézersugár kilövése során folyamatosan távoznak a részecskék, ezért bizonyos idő után a tubus kiég és cserélni szükséges.

A lézer tubus felépítése



1.10. ábra: A gézlézerek tubusának a felépítése [saját ábra]

1.4 A papír feldolgozása a nyomdaiparban

A nyomdaiparban számos művelet során kerül feldolgozásra a papír amíg végtermékként elhagyhatja az üzemet. Ezen folyamatok során a papírt vágjuk, daraboljuk, stancoljuk, bigeljük, dombornyomjuk, perfoláljuk, hajtogatjuk, ragasszuk, és tűzzük.

1.4.1 Vágás

A nyomdaipar számos területén szükséges a felhasználásra kerülő különböző nyomathordozókat, kötészeti anyagokat, csomagolóipari alapanyagokat vágni darabolni. A vágás történhet vágással vagy nyírással.

A kézi vágás esetében a legnépszerűbb eszköz a karos vágógép. Kisebb kötetekben, kisipari műhelyekben még ma is használják, mivel felépítése és működése egyszerű. A présgerenda működése a kézikerék, a hátsó illeszték mozgatása az orsós szerkezet segítségével történik. Egy másik gyakran előforduló vágószerkezet a kerek ívvágógép, ami igen egyszerű szerkezet. A préselés műveletét a kerékkel, a hátsó illeszték beállítását orsós szerkezettel, a késtartó meghajtását kézi hajtókerékkel végezzük. Ez a gép motorikus meghajtásra is átalakítható.



1.11. ábra: Karos vágógép [13]

Ívvágó gépek esetében a késtartó különleges alakú és méretű a rezgésmentesség érdekében, így biztosítva azt, hogy a vágás pontos és egyenes lesz. A kés cserélhető,

szükség szerint és élezhető köszörüléssel. A présgereda az ívoszlopot szorosan lenyomva tartja, hogy vágás közben a kés azt ne tudja kihúzni. A présgeredát régen rugóval működtették ma már olajhidraulikával biztosítják a kellő nyomóerőt. A vágókések anyaga edzett acél vagy éltartó acélbetét. 18-23°-os szögben kell köszörülni a vágókéseket. A vágás minőségi követelményeinek általában a műanyag vágóléc felel meg és a késél tartósságának szempontjából is ez a legmegfelelőbb. Ennek a vágólécnek a felületén történik az anyag átvágása. Motorikus vagy kézi meghajtással történik a hátsó illeszték méretre állítása. Napjainkban ez már számítógép vezérlésű, ezáltal gyorsabb, hatékonyabb és pontosabb a méretre vágás. A meg nem nyomtatott és a megnyomtatott ívek pontos vágásának előfeltétele, hogy az ívek illesztési helyeken (alap és oldalillesztés) derékszögbe legyenek vágva. Vágás előtt, ez illesztés helyének megfelelően, az íveket ki kell ütögetni. A papírgyárak a papírt legtöbbször pontatlanul kiütögetve, vagy ferdére vágva szállítják. Ezért nyomás előtt az íveket derékszögűre kell vágni, mert, ha a nyomott ívek ferdek, azok a feldarabolás után is ferdek lesznek. Az ilyen íveket pedig pontosan és gyorsan nem lehet hajtogatni. Éppen ezért, ha az íveket gépi hajtogatásra tervezzük vágni, figyelembe kell veyünk néhány dolgot. Először is a papír és a margóméret egyenlő kell legyen. Azaz, ha az ívet a papír széle szerint meghajtjuk úgy kell kinéznie mintha nyomás után hajtottuk volna meg. Emiatt a formakészítőnek a nyomóformát a kilövés szerint kell elkészítenie és a gépmesternek a nyomóformákat úgy kell elhelyezze és az illesztéket, valamint az oldalmértéket úgy kell állítania, hogy a hajtogató-gépen levő oldalmértékkel és illesztékkel egyezzenek. [14]

A hajtogatott ívek, lapok, könyvek és brosrák nagyüzemi gyártása során alkalmazzák a háromkéses vágógépet, mely teljesen zárt szerkezetű ezáltal magas balesetvédelmet biztosít a gépkezelő számára, mégis gyorsan és hatékonyan üzemeltethető. A vágóberendezés meghajtása ékszíjjal és elektromágneses tengelykapcsolóval működik. A hajtómű mechanikus rugónyomású fékkel van ellátva és olajfürdőbe merülő, zajtalan futású, fogaskerék-hajtóművel. A vágóműtől független vezérlésű az automatikus olaj hidraulikus présszerkezet. A folyamatos vágáshoz a gép szállítóasztallal is felszerelhető. A nagyüzemi könyvgyártás során olyan háromkéses vágógépet használnak, amely egy vágási periódusban több könyvtest méretre vágását végzi el. A vágás után a lapok élei simák lesznek és a könyvtest elnyeri végső méretét. Konstruktóiótól függően eltérő lehet a háromkéses vágógépek működési mechanikája, de elterjedtebb formában úgy néz ki,

hogy a préslap leréseli az íveket majd a homlokoldalvágás történik. Ezt követi egyszerre a könyvtest fej és lábrészének a méretre vágása. A vágási művelet után préslap fölemelkedik, és a kivezető mű kivezeti a méretre vágott könyvtesteket. A keletkező papírhulladékot elszívó berendezéssel távolítják el a vágóműből. Alapvetően három típusát tudjuk megkülönböztetni automatizáltságuk szerint. Félautomaták, automaták és gépsorba építhetők. A ragasztókötött és a keménytáblás könyvgyártás során egyaránt alkalmazhatók és a számítógép vezérelhetőségük miatt nagyon rövid az átállási idejük. Három fő részből épül fel, a berakóműből, a vágóműből és a kirakóműből. A félautomata gépeknél a vágandó anyagot csomagonként tesszük be a betoló prészerkezetbe, itt illesztjük fejnél és gerincnél kiütve. Az automata és a gépsorba kötött gépeknél a berakómű is automatizált. A vágandó anyag illesztése, préselése, vágása és továbbítása a kirakó felé a vágóműben történik. A kirakóműben a megvágott könyvtest a kirakószalagra kerül.



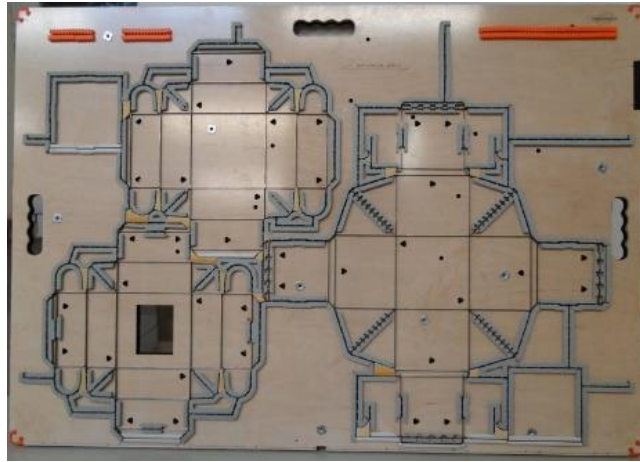
1.12. ábra: Ívvágó gép [15]

A könyvtest vágása mellett a könyvtábla anyagjainak szabása is megtörténik. A táblalemezek méretre szabása körkéses lemezvágó gépeken történik. Az egyszerű lemezvágó gépek a könyvkötő lemezek egyirányú darabolására alkalmasak. Ezeken a gépeken a könyvkötő lemezeket először hosszirányban nyírják fel a megfelelő méretre, majd a gép újbóli beállítása után keresztirányban. Két egyszerű gép összekapcsolásával a

lemezek megfelelő méretre vágása egy menetben történik, ugyanolyan sorrendben egymást követően, mint az egyszerű gépeken, de a kétszeri felrakás és lerakás munkájának kiküszöbölésével. A korszerű gépeket már eleve úgy alakították ki, hogy a két irányú feldarabolást egy menetben végezhessek. A körkések kialakításukból fakadóan lehetnek körkések, tányérkések és fazékkések. A vágandó anyag tulajdonságaihoz igazodik az, hogy éppen milyen kést alkalmazunk. Így a karton és könyvkötő lemez nyírásához körkést, a lágyabb, vastagabb anyagokhoz tányérkést, a vastagabb és keményebb anyagok nyírásához fazékkést használunk. A körkéseknek a vágandó anyagot továbbítaniuk és behúzniuk is kell egyidejűleg, ezért a helyes beállításuk nagyon fontos. Más gépekhez hasonlóan itt is megkülönböztetjük a manuális és az automata berakású gépeket. A kézi berakású gépek esetén a lemezt olyan erővel kell ütköztetni, hogy az adogatóhengerek és a lemez között a körkések élszögének megfelelő súrlódó erő alakuljon ki. A körkések között lemezvezetők biztosítják a gép folyamatos működését. Gépi berakású gépeknél a berakás oszlopberakóval történik. A lemezoszlopról a felső lemezt szívószerkezet emeli le és helyezi a bevezetőasztalra a továbbító hengerpár elé, amelyek a lemezt a körkésekhez továbbítják. A vágást követően szintén továbbító hengerpár vezeti ki a felvágott lemezcsíkokat a szalagos asztalra, ahol szalaghevederek vezetik tovább a kirakóhoz. Kettős nyíróművel épített gépnél a lemezcsíkokat automatikus lemez csíkvezető vagy szívó-toló rendszerrel kiegészített vezetőrendszer vezeti át a lemezcsíkokat a keresztbe daraboló második gép bevezető hengerpárjához. [14]

1.4.2 Stancolás, bígelés és perforálás

Összetettebb vagy különlegesebb alakzat esetén a vágás már nem kivitelezhető. Ilyenek lehetnek a csomagolóiparban használatos dobozok terítékrajzai, a különleges alakú mesekönyvek belívei és borítója vagy a termékek különleges alakú címkéi. Azok az alakzatok számítanak különlegesnek, amelyekben van ívelt rész. Az ívelt részeket nem tudja a vágókés kivágni. [16] A stancolás folyamata során a stancolóformában elhelyezett acélkés segítségével összepréselik (bígelik) vagy átvágják a papírt, a kartont, esetleg a szűrkelemezt. Ezt a folyamatot íves vagy rotációs stancoló gépen végzik.



1.13. ábra: Íves stancolóforma [17]



1.14. ábra: Tekercses stancolóforma [18]

A vágó és bígelő léniák 15-18 mm vastag rétegelt falemezbe vannak beépítve. A beépítés kézi munkával történik egy szakember által, emiatt lassú és költséges megoldást jelent a stancolás. A rotációs stancoló gép olyan mágneses hengerrel van felszerelve, amire rá van rögzítve a stancoló lemez, vagy a henger maga a stancoló szerszám, azaz a vágó élek közvetlenül a henger tömör testébe vannak belevésve. A stancoló késsel végzett, az anyag bevágásához szükséges erő jelentősen nagyobb, mint a vágókéssel végzett vágási folyamat során szükséges erő.

Napjainkban a lézer technológia egyre nagyobb teret hódít és egyre többféle megmunkálásra használhatjuk, így itt a stancolásban is alkalmazhatjuk. A lézerstancolás gyors és nem igényel kézi munkát. A számítógépen elkészített rajzot azonnal a felületre rajzolja, ezzel megmunkálva azt. Egy újabb modell esetén nem kell új stancformát készíteni és azt kicserélni az előzővel, hanem csak egyszerűen az új mintát kell kiküldeni a lézervágó gépre a számítógépről. Emellett alkalmazható olyan esetekben is amikor az anyag milyensége nem teszi lehetővé a hagyományos stancolási eljárást.

A bígelés egészen hasonló a stancoláshoz, gyakran egyidejűleg történik a stancolással egyetlen munkafolyamatban, ugyanazon stancolólemezen. A bígelés csupán előhajtást jelent.



1.15. ábra: Síkágyas stancológép [19]

A harmadik igencsak hasonló fogalom az eddigiekhez a perforálás. Tulajdonképpen ez is vágás csak különlegesebb akárcsak a stancolás. A perforálás során nem vágjuk el teljes egészében az adott anyagunkat, viszont teljesen átvágjuk. Az így létrejött perforálás mentén könnyedén elszakíthatóvá válik az anyag. A perforáló kés anyaga acél. Éle azonban nem folytonos, sokkal inkább szakaszos. A vágási képe szaggatott vonalra hasonlít, de lehet egymást követő apró lyukacsokból álló is. A lézervágó gép a perforálással is könnyen boldogul, akár nagyon aprólékos mintázat esetén is. Nincs szüksége hozzá semmiféle fizikai eszközre csupán a lézerfény erejére. [20]

1.4.3 Hajtogatás

A papír feldolgozás egy másik fontos művelete a hajtogatás. A hajtogatás során a papír ívet egy egyenes vonal mentén megtörjük, ennek hatására az íven a törésvonal mentén tartós alakváltozás keletkezik. Fontos azonban, hogy a hajtogatás mentén az ív nem szabad meggyűrődjön vagy berepedjen. A nyomdaiparban az ívek hajtogatására hajtogatógépet használnak, amely működési elvéből fakadóan eltérő lehet. A tekercsnyomtatással készült papírpályát, vagy keskenyebb szalagokra vágott részeit tölcseren, vagy több

tölcseren keresztül vezetik a hajtogató gépbe, ahol kereszt vagy párhuzamos hajtés után kapják meg végleges formájukat. Íves nyomtatás után a derékszögűre vágott íveket íves hajtogató gépen dolgozzuk fel. Az íveket hajtogatás közben perforálják, hogy ívprésléskor a levegő ki tudjon szorulni belőlük. A hajtés célja, hogy a kinyomtatott oldalak számai az íven egymást követő növekvő sorrendbe helyezkejenek el az ív többszöri hajtogatása után. Alapvetően az ívek hajtogatási sorrendje szerint egymásra merőleges hajtások követik egymást, de létezik a párhuzamos hajtogatás is az úgynevezett laporellóhajtés, amelyet főként a mellékletek hajtogatásakor alkalmaznak. Függetlenül attól, hogy kereszt vagy párhuzamos hajtást hajtunk végre az íven nem feledkezhetünk meg arról a tényről, hogy minden hajtés után az egymást fedő oldalak száma megduplázódik. A hajtés után az egymásra hajtott ívrészek szedéstükrének pontosan fedniük kell egymást. A papír vastagsága határozza meg hajtogathatóságának mennyiségét, azaz, hogy hányszor lehet meghajtani. Egy íves nyomtatással készült nyomtatott ív maximálisan harminckét oldalhajtást visel el. Ez az érték fölött már gyűrődik. [21]



1.16. ábra: Stahl Ti 52 hajtogatógép [22]

A hajtógató gépek felosztása:

Íves papír hajtógatógép vagy tekercspapír hajtógató gép:

- félautomata,
- automata.

Az ívek berakása szerint:

- rotary (köríves)- önberakó szerkezet,
- Sík ívoszlopos berakó szerkezet,
- Rakodólapos berakó szerkezet.

A hajtógató gépek a hajtogatás módja szerint lehetnek:

- késes rendszerű hajtógató gépek,
- táskás rendszerű hajtógató gépek,
- táskás és késes kombinációjú (kombinált) hajtógató gépek,
- tölcseeres rendszerű hajtógató gépek.

1.5. A lézer technológia alkalmazása a papírfeldolgozás területén

Ahogy az eddigiekben már említettem lézer technológiája jelen van a papírfeldolgozás területén. A stancolás, a perforálás vagy a darabolás során jelentős szerepe van a kismennyiségű egyedi, különleges alakú formák kialakításának. Felfedezhető némi hasonlat a nyomtatás területén az ofszet és a digitális nyomtatás egymáshoz való viszonyulásában. Nagy példányszám esetén a hagyományosnak mondható stancolás a jobb, míg kis példányszám esetén a lézerstancolás a kedvezőbb, akárcsak a nyomtatásban a nagy példányszám esetén az ofszett nyomtatás-, míg kis példányszám esetén a digitális nyomtatás az előnyösebb választás.

1.5.1 A lézerstancolás

A lézerstancolás, ahogy a neve is sugallja, a lézertechnológia alkalmazását jelenti a stancolás folyamatában. Számos előnye van a lézerstancolásnak, alkalmazása mégis nem terjedt el még széleskörűen. [23]

Talán a legnagyobb előnye az a lézerstancolásnak, hogy nincs szükség stancszerszámra. Ennek elkészítése időigényes és jelentős anyagi forrásokat emészt fel. Ezek a tényezők mai felgyorsult fogyasztói társadalmunkban nem elfogadható tényezők.

Másik előnye az acél pengékkel szemben a lézersugárnak az, hogy sokkal aprólékosabb és sokkal összetettebb mintát képes kivágni. A vágás vonala vékonyabb és részletgazdagabb.



1.17. ábra: Duplex karton lézerstancolása [saját ábra]

A csökkenő példányszámok határozzák meg a nyomdaipar több szegmensét is amely ugyancsak a lézerstancolás előnyére válik az elterjedése terén. Ez azért lehetséges, mert a stancolt termékek minimális darabszáma lehet egy is, ami a hagyományos stancolás esetében elég elképzelhetetlen. Nem azért, mert nem képes rá a technológiája, hanem azért, mert egyszerűen nem éri meg.

A fent említett érvek mellett sorakozik fel az is, hogy a csomagolásipari-, de akár a nyomdaipari trendek is különlegesebb, egyedi formák felé mutat igényt. Minden megrendelő szeretné, hogy terméke egyedi formavilágú csomagolásban részesüljön a fogyasztói csomagolások szintjén.

Mint minden technológiának ennek is megvannak a maga hátrányai is. Ilyen lehet az, hogy maga a stancolás folyamata csak szakaszos lehet. Minden ív után ki kell vezetni azt és csak ezt követően jöhet a következő ív behelyezése. Ezt követően a lézersugarat a felületre vetítő fejnek a stancolt formát teljes egészében körbe kell járja, ami egy jelentősen lassabb folyamat, mint a hagyományos stancolás során az egy ütem során történő körbevágás, bígelés, perforálás. A hulladék eltávolítása kézimunkával távolítható el, mivel nincs semmilyen szerkezet, ami kilökné a felesleges hulladékot.

Egy másik hátránya lehet az, hogy folyamatos humán erőforrást igényel. A lézerstancolás folyamata még nem automatizált. A hagyományos stancolás során egy ütemben történhet a stancolás és a bígelés. Ez sajnos a lézertechnológiával nem kivitelezhető. A bígelés egyáltalán nem kivitelezhető lézerrel.

A lézerstancolás folyamatáról elmondhatom, hogy az előkészítés folyamata gyorsabb és egyszerűbb, mint a hagyományos stancolásé. Az előkészítés során számítógépen meg kell tervezni a vágás vonalvezetését és amennyiben szükséges a perforálás helyét is. Ezt követően az ívet be kell helyezni pontosan a lézervágó gép munkafelületére a megfelelő helyre majd elindítani a folyamatot. A vágást követően, ki kell venni a kivágott terméket és a hulladékot, majd kezdődhet újra a folyamat a következő ív behelyezésével. A megmunkálási paramétereket a számítógépen kell előzőleg beállítani. Ebből is látszik, hogy ez egy lassabb folyamat, mint a hagyományos stancolás folyamata, főképp, ha annak a tekercses változatát nézzük. Létjogosultsága mégis van, ha kis mennyiségre van szükség, ha nagyon gyorsan kell a nagyobb széria előgyártása vagy után gyártása során, esetlegesen csupán néhány prototípus segítségével akarjuk modellezni az új termékünket.

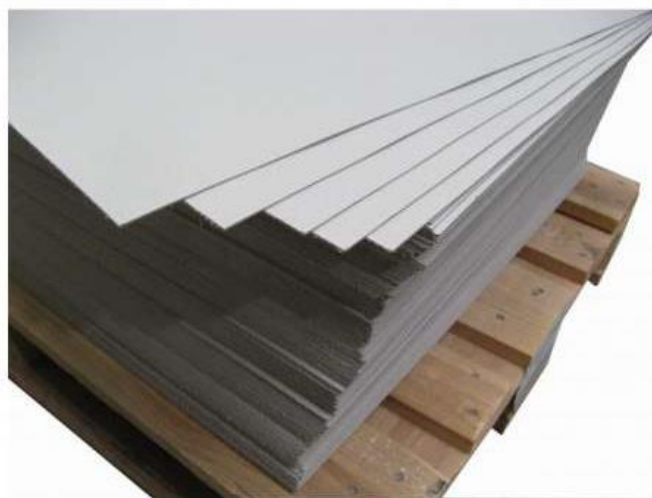
2. Vizsgálati rész

2.1 A felhasznált anyagok és eszközök

A gyakorlati vizsgálatok során egy Bodor BCL-1309XUF lézervágó és gravírozó gép segítségével megvizsgáljuk, hogy a kötészeti és csomagolóipari anyagok hogyan darabolhatóak a lézervágó gép segítségével kis darabszámú megrendelések esetén.

2.2 Kötészeti szürkelemez

A könyvkötészeti szürkelemez jobb minőségű újrahasznosított papírostokból készül. Négyzetmétertömege $400-6000\text{g/m}^2$ közé tehető. Felülete simított, hullámmentes, jó ragaszthatóságú, nem vetemedő, kemény, merev anyag, 8% körüli egyenletes nedvességtartalommal. Felhasználási területe elsősorban a könyvkötészet, de társasjátékok és dobozok is készülhetnek belőle. A könyvek merevítését, erősítését szolgálja. Leggyakoribb mérete $100 \times 70 \text{ cm}$, vastagsága $1,5-3,5 \text{ mm}$. [24] [25]



2.1. ábra: Kötészeti szürkelemez [26]

2.3 Hullámpapírlemez

A hullámpapírlemez úgy készül, hogy amikor két alap-papír réteg közé egy hullámosított réteget ragasztunk. A két réteget, ami egy alap-papírból és egy hullámosított részből áll hullámpapírnak nevezzük, ha ezt a két réteget egy harmadik fedőréteggel borítjuk hullámpapírlemezt kapunk. A fedőréteg papírt másképp linernek is nevezzük, ez az a

réteg, amely a hullámpapírlemeznek az alap, fedő és több réteg esetén a belső nem hullámosított része. A középréteg papírt, hullámosításra kerül a lemezgyártás során. Ezt a réteget nevezhetjük medium vagy fluting.

A fedőréteg papírokat alapvetően két csoportra oszthatjuk, kraftlinerekre és testlinerekre. Ezen belül megkülönböztetjük a barna és a fehér színűt, illetve a fehér színen belül a mázolt és a mázolatlan fedőréteget. A kraftlinerek azok a fedőréteg papírok, amelyek teljes egészében elsődleges rostanyagból készülnek. Ennek nagy előnye, hogy sokkal szilárdabbak és nagyobb az ellenállásuk a magas páratartalomnak kitett környezetnek. Ilyen lehet például a fagyasztott vagy hűtött termék. Ahol elvárás a magas minőségű nyomtathatóság ott van szükség a fehér színű kraftlinerekre, amely állhat egy vagy két fehér rétegből. A testlinerek újrahasznosított papírrostból készülnek és alapvetően barna színűek. Ha jobb nyomtatási minőségre van szükség, akkor külső felületet fehéritik, de ezt nem alkalmazzák túl gyakran.

Alapvető tulajdonságai, hogy gyártásához alapvetően nem szükséges elsődleges rostanyag. Száz százalékban újrahasznosítható az anyaga a gyártási hulladék esetében ugyan úgy, mint a csomagolóiparban már felhasznált késztermékekről beszélünk, akár tizenhét alkalommal is. Szállítása és tárolása síkba terítve van egészen felhasználásig. Hátrányainak jórésze nemesítéssel javítható. Impregnálással vízállóvá, zsírállóvá tehető vagy akár lángállóvá is bizonyos határig. [27]



2.2. ábra: Hullámpapírlemez [28]

2.4 Duplex karton

Kétrétegű kartonnak, rétegjei különböző anyagösszetételűek, de jellemzően válogatott, jó minőségű újrahasznosított papír. 250-300 g/m² a négyzetmétertömege. Felülete sima, egyik oldalon mázolt fehér, másikon szürke. Előállításuk egy rétegben, síkszítás papírgépen ragasztás nélkül állítható elő. Felhasználási területe a fogyasztói csomagolás doboza, folyóiratfedőlap, meghívó, borítók, képeslapok, mesekönyvek és a hullámlemez fedőrétege. [24] [25]



2.3. ábra: Duplex karton [29]

2.5 Bodor BCL-1309X

A Bodor Laser egy kínai cégcsoport amelyet 2008-ban alapítottak és azóta a világ számos országában jelen van. A lézervágó és gravírozó gépek számos típusát fejlesztik és gyártják a kis asztali gépektől a nagyméretű ipari gépekig. A fiber és a szén-dioxid lézerek a fő irányvonaluk.

Az általam használt lézervágó és gravírozó gép 2016-ban gyártódott. Első üzembehelyezése jelenlegi helyén történt.

A munkafelülete 1300x900 mm, amelyet 5 cm-ként elhelyezett alumínium lamellák fedik le. Opcionálisan erre helyezhető egy másik sűrű lamellás úgynevezett méhsejtes rács.

A lézerfényt tükrökön át vezeti a fejhez, amelyben egy gyűjtőlencse helyezkedik el és a lézersugarat egy fókuszpontba koncentrálja, ezáltal tud nagyon vékonyan és pontosan vágni. A fej mozgását két darab nagy pontosságú léptetőmotor biztosítja, fogas gumiszalagok segítségével az X (vízszintes) és Y (függőleges) tengelyeken. A vágás pontossága eléri a $\pm 0,01$ mm-t. A munkafelület és a lézer alsó pontja közötti távolság 56 mm, amelyből 6 mm a tárgy és a fej közti távolság ezzel kerülve a lencse fókuszpontjába a tárgy felülete. A fennmaradó 50 mm a vágási mélység az anyagtól függően. Ennél nagyobb méretű termékek megmunkálását teszi lehetővé, az alumínium lamellák eltávolításával a Z tengely, amelyet két motor egyszerre mozgat és egy egybefüggő alumínium lemez alkot. Erre helyezhetjük az 50 mm meghaladó, de 450 mm-t el nem érő termékeket. A Z tengelyen levő munkalap mérete megegyezik a gép munkaterületével. A már említett fejbe tükrökön keresztül érkezik a lézersugár. Ezekből három darab van. Helyes szögbe állításuk nagyon fontos a lézervágógép pontos működéséhez. A gép úgynevezett lelke a lézertubus, amely a gép hátsó felében helyezkedik el egy zárt részben.



2.4. ábra: Bodor BCL-1309X lézervágó és gravírozó gép [30]

Hozzá kapcsolódik szinte minden. A hűtését és a működését segíti a hűtővíz mely egy a géptől különálló hűtőberendezés hűti vissza megközelítőleg 20 °C fokra, illetve ez a berendezés biztosítja a víz állandó körforgását a tubusban és a tubus és a hűtő közt. A

tubushoz továbbá kapcsolódik a tápegység melynek az a feladata, hogy a bejövő 220V $\pm 10\%$ áramot 22000V-ra erősítse fel.

A tubus másik végéhez kapcsolódik a tükrök rendszere. A víz hűtése olyannyira fontos, hogy esetleges meghibásodása esetén azonnal megáll a lézer és hangjelzéssel figyelmeztet a meghibásodásra. Üzemi hőmérséklete 5 és 35 °C között van. Maximális vágási sebessége 400mm/másodperc és maximális gravírozási sebessége 500mm/másodperc. Központi vezérlőjének típusa Ruida, színes képernyővel és billentyűzettel. A számítógéppel való kapcsolata lehet hálózati vagy USB csatlakozással. A vágás során keletkező füst elszívásához kapcsolódik a géphez egy elszívó berendezés. A külső fizikai paraméterei szerint a mérete 1602x1137x1060 mm és 230kg az összsúlya.

[31] [32] [33]

3. Vizsgálatok a papírlemezek és kartonok lézervágással történő megmunkálására

A kartonokat és a kötészeti szürkelemezeket a gyártás során stancolással darabolják és vágják a kellő formára. Ez egy jól bevett és kidolgozott gyakorlat, melyet még ma is előszeretettel használnak. Nem véletlenül, hiszen nagyon gyors, olcsó és kellően pontos technológia. A nyomdaipari trendek egy újabb technológia számára nyitnak létjogosultságot, ez pedig a lézerstancolás.

Életkoromból fakadóan engem nem a mindennapok elvárásai, a szakmai tovább fejlődés ösztönzött arra, hogy a kemény munkával megszerzett tapasztalataimat bővítsem az egyetemen. Én csupán kerestem egy fejlődési lehetőséget, amelyben mondhatni folytathatom a középiskolában megszerzett tudásom gyarapítását. Korábban a kézi és a számítógépes grafika világát tanultam, így érdeklődésem most az elkészült grafikák nyomtatására és a csomagolásokon való megjelenítése felé irányult. Erre volt kiváló lehetőség ezen az egyetemen tanulni. Megismerni a gyártási folyamatok struktúráit, a különböző nyomdaipari és csomagolóipari termékek alapanyagait.

Elsőéves egyetemistaként kaptam lehetőséget egy kis műhelyben az ipari felhasználású szén-dioxid lézereket megismerni és már ekkor foglalkoztatott a gondolat, hogy milyen lenne a kismennyiségben annyira drága stancolási folyamatokat a lézervágó segítségével kihelyettesíteni.

Jelen dolgozat célja megvizsgálni azt a lehetőséget, hogy melyik anyagot, milyen beállítások mellett célszerű vágni, hogy a leghatékonyabb legyen. Szeretném megtalálni azokat a paramétereket, amelyek a leghatékonyabbak az Ani-Tsupa Studio számára ahhoz, hogy kis darabszámú vagy egyedi, prototípus termékeket lézerstancolhasson a vonzaskörzetében levő nyomdaipari vállalatoknak vagy a helyi manufaktúrák egyedi csomagolásához.

3.1 Vizsgálati anyagok mérése

A választásom a kasírozott kötészeti szürkelemmezre, a hullámpapírlemezre, a kötészeti szürkelemmezre és a duplex kartonra esett. Ennek az az oka, hogy tanulmányaim során azt tudtam meg, hogy ezek a leggyakrabban használt könyvkötészeti és csomagolóipari alapanyagok. Amint a felsorolásból is kiderült a kötészeti szürkelemmez kétszer is szerepelt, ennek az az oka, hogy előbb egy kasírozott, másodjára meg eredeti formában szerettem volna megvizsgálni. Sokszor előfordul, hogy stancolás előtt kerül sor a kasírozásra, mivel a kasírozott anyag pontosan kell illeszkedjen a végleges formára. A vizsgálati anyagokat a lézervágást megelőzően mérési vizsgálatoknak vettem alá. Előbb mindegyik alapanyagból 10 x 10 cm méretű négyzeteket vágtam. Mindegyik anyagból 10-10 darabot. Ezeket a mintadarabokat megfelelő jelölésekkel láttam el. A következő képpen:

- 1-es számmal jelöltem a kasírozott kötészeti szürkelemezt,
- 2-es számmal a hullámpapírlemezt,
- 3-as számmal a kötészeti szürkelemezt,
- 4-es számmal a duplex kartont.

Ezt követően minden mintadarabot egy sorszámmal láttam el. Ezért a jelölések a következő képpen néznek ki. $1/1$, $1/2$, $1/3$, ... és így tovább, majd láthatjuk a másik anyag esetében, hogy $2/1$, $2/2$, $2/3$, ... majd tovább ezen számozás szerint mind a négy alapanyag esetében.

A két mérés egyike a négyzetmétertömeg megállapítására irányul, míg a második mérés a vastagság megállapítására.

3.1.1 A négyzetmétertömeg mérése

A méréseket egy táblázatba rögzítettem és egy digitális mérleg segítségével végeztem el, mely grammban mért egy tizedes pontossággal. Minden mérést öt alkalommal ismételtam meg. A tíz mintadarabot, mintánként öt alkalommal mértem és így ötven mérési eredményt kaptam. Az eredményekből számtani átlagot, szórást és négyzetmétertömeget számoltam.

A kasírozott kötészeti szürkelemez az első vizsgálati anyagom. A méréseket elvégezve megállapítottam, hogy a négyzetmétertömege 1160 g/m^2 . A mintadarabok átlagos tömege kerekítve 11,6 g volt és a mérési eredmények szórása 0,25. [3.1. táblázat]

3.1. táblázat: A 1. vizsgálati anyag alapmérési eredményei

Kasírozott kötészeti szürkelemez

Ssz.	Súly [g]					Vastagság [μm]				
1/1	11,60	11,30	11,50	11,70	11,60	1880	1840	1790	1780	1850
1/2	11,00	11,20	11,10	11,40	11,30	1820	1830	1920	1850	1860
1/3	11,60	11,50	11,40	11,80	11,70	1910	1830	1850	1860	1880
1/4	11,50	11,30	11,60	11,40	11,50	1740	1720	1820	1790	1800
1/5	11,70	11,50	11,60	11,40	11,70	1720	1870	1850	1700	1750
1/6	12,00	12,10	11,90	11,70	11,80	1830	1830	1880	1890	1870
1/7	11,60	11,50	11,70	11,60	11,60	1750	1780	1790	1770	1780
1/8	11,30	11,40	11,10	11,40	11,20	1780	1790	1820	1800	1810
1/9	11,60	11,30	11,40	11,70	11,50	1750	1720	1680	1700	1730
1/10	11,90	11,80	12,00	12,10	11,70	1620	1670	1630	1650	1660
átlag	11,56					1790				
szórás	0,25					74,90				

A második vizsgálati anyagom a hullámpapírolemez volt. Ennek négyzetmétertömege 366 g/m^2 . Az átlagos tömege a mintadaraboknak 3,66 g volt és a mérések szórása 0,25. Ez látható az alábbi táblázatban. [3.2. táblázat]

3.2. táblázat: A 2. vizsgálati anyag alapmérési eredményei

Hullámpapírolemez

Ssz.	Súly [g]					Vastagság [μm]				
2/1	3,90	3,80	3,60	3,40	3,70	3590	3650	3600	3550	3490
2/2	3,70	3,60	3,50	3,40	3,60	3760	3770	3740	3680	3730
2/3	3,70	3,60	3,50	3,80	3,50	3730	3720	3780	3630	3770
2/4	3,60	4,00	3,80	3,80	3,90	3740	3720	3730	3660	3690
2/5	3,10	3,90	3,70	3,50	3,40	3650	3680	3630	3640	3650
2/6	3,00	3,70	3,60	3,30	3,50	3680	3720	3670	3720	3700
2/7	3,30	4,00	4,10	3,90	3,60	3730	3620	3720	3550	3580
2/8	3,70	3,80	3,90	4,00	3,70	3670	3650	3600	3630	3660
2/9	3,70	3,90	4,00	4,10	3,90	3700	3750	3720	3730	3760
2/10	3,20	3,80	3,50	3,70	3,30	3720	3750	3760	3780	3730
átlag	3,66					3686				
szórás	0,25					66,40				

Harmadjára a kötészeti szűrkelemez mérési vizsgálatát végeztem el. Ennek eredményeként a szűrkelemez négyzetmétertömege 1210 g/m^2 . A mérések átlaga $12,1 \text{ g}$, szórása pedig $0,25$. [3.3. táblázat]

3.3. táblázat: A 3. vizsgálati anyag alapmérési eredményei

Kötészeti szűrkelemez

Ssz.	Súly [g]					Vastagság [μm]				
3/1	12,10	12,40	12,10	12,50	12,30	1920	1920	1910	1900	1910
3/2	12,30	12,20	12,40	12,50	12,20	1910	1910	1920	1910	1910
3/3	12,20	12,10	12,20	12,30	12,40	1890	1900	1900	1910	1900
3/4	12,20	12,30	12,10	12,30	12,00	1910	1900	1910	1900	1900
3/5	12,50	12,30	12,20	12,40	12,10	1890	1890	1880	1900	1890
3/6	12,10	12,20	12,20	12,30	12,10	1900	1900	1890	1910	1900
3/7	11,90	12,00	12,00	11,80	12,10	1890	1900	1910	1890	1900
3/8	11,50	11,70	11,60	11,50	11,60	1840	1820	1830	1830	1840
3/9	12,00	11,80	12,00	11,90	12,10	1890	1880	1880	1890	1870
3/10	11,90	11,80	12,00	12,10	11,90	1870	1860	1860	1870	1870
átlag	12,09					1890				
szórás	0,25					24,41				

A duplex karton volt a negyedik alapanyag, amelyet vizsgáltam. Ahogy a lenti táblázatban is látható a mintadarabok tömegének átlaga $4,1 \text{ g}$ és a mérési eredmények szórása $0,16$. Ebből kiszámítható, hogy a megvizsgált duplex karton négyzetmétertömege 410 g/m^2 . [3.4. táblázat]

3.4. táblázat: A 4. vizsgálati anyag alapmérési eredményei

Duplex karton

Ssz.	Súly [g]					Vastagság [μm]				
4/1	4,10	3,90	4,00	4,20	4,00	490	480	510	500	500
4/2	4,20	4,20	4,10	4,00	4,10	510	470	490	500	470
4/3	4,20	4,30	4,20	4,30	4,10	510	510	500	520	510
4/4	4,30	4,10	4,30	4,20	4,10	500	510	520	510	510
4/5	4,00	4,10	3,90	4,00	4,00	530	530	520	500	510
4/6	3,90	3,80	4,00	3,70	3,90	510	520	520	510	500
4/7	4,30	4,40	4,20	4,30	4,40	470	480	470	490	500
4/8	4,20	4,10	4,20	4,00	4,10	520	490	460	490	470
4/9	4,10	4,20	4,10	4,20	3,90	490	470	480	460	480
4/10	4,00	3,90	3,80	4,10	4,00	490	500	510	510	510
átlag	4,09					498				
szórás	0,16					18,26				

3.1.2 A vastagság megállapítása

A vastagság megállapításához is méréseket végeztem egy tolómérce segítségével és a kapott eredményeket az előző táblázat egy következő részében helyeztem el. A méréseket ismételten öt alkalommal végeztem el ugyanazokon a mintadarabokon, így ismét ötven eredményt kaptam, melyből számtani átlagot és szórást számoltam.

A kasírozott kötészeti szürkelemez vastagságának megállapítására irányuló méréseim eredménye alapján az átlagos vastagsága 1790 μm és a mérések szórása 74,9. [3.1. táblázat]

A hullámlemez karton átlagos vastagsága 3686 μm és az elvégzett mérések szórása 66,4 a mérési vizsgálataim alapján. [3.2. táblázat]

A kötészeti szürkelemez vastagsági vizsgálata alapján a vastagsága 1890 μm . A mérések szórása 24,4. [3.3. táblázat]

Duplex kartont vizsgáltam negyedikként. A vastagsági mérések átlaga 498 μm . Az elvégzett méréseim szórása 18,26. [3.4. táblázat]

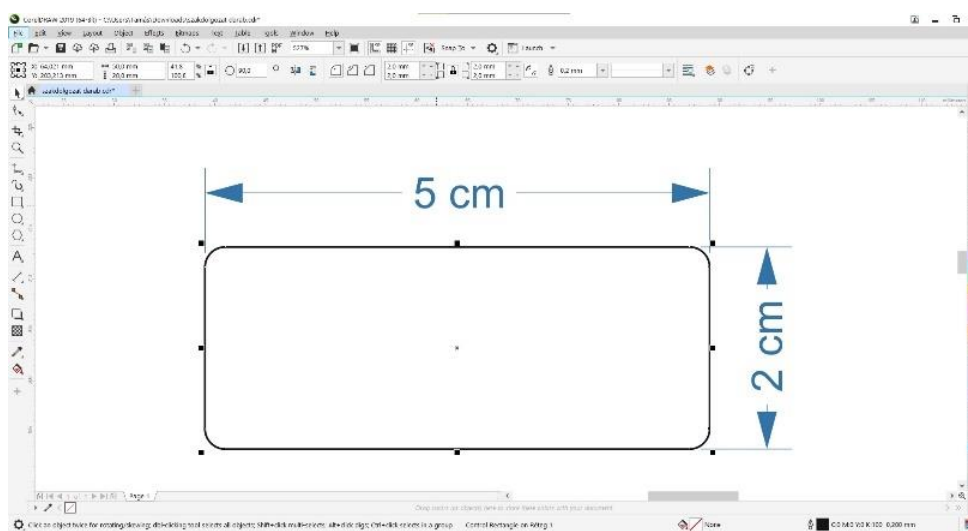
3.2 A lézervágógéppel való vágási vizsgálatok

A roncsolásmentes vizsgálatokat követően roncsolásos vizsgálatot végeztem annak érdekében, hogy megvizsgáljam milyen beállítások kellenek ahhoz, hogy a lézervágó átvágja az alapanyagokat. Ezen felül azokat a beállításokat is kerestem, amellyel szép, tiszta vágási vonalat kapok, illetve kerestem azt a beállítást is amellyel nem vágja át ugyan az anyagot, de szépen megrajzolja azt ezzel lehetővé téve azt, hogy jelölésekkel lássam el az alapanyagokat. Azt már tapasztalatból tudtam, hogy több olyan vágási beállítás lesz melyek az anyagok átvágását eredményezik majd, ezért szerettem volna megkeresni azt a beállítást amellyel a leghatékonyabb tud lenni a lézervágógéppel való stancolás.

A lézervágógépnek amelyet használtam a vizsgálatok során két beállítási paraméterét tudjuk szabadon változtatni. Az egyik a vágás sebessége, amely 0 és 160 mm/s között változtatható biztonsággal vágás esetén. A másik paraméter a lézertubus terhelése 10 és 95% között. A 0 és 10% közötti tartományban lényegében nem képes a lézersugár a vágófejig eljutni, így nem is képes semmilyen nyomot hagyni az alapanyagokon. Ezt a tartomány ezért nem vizsgálom. A 95 és 100% közti tartományban nincs jelentős

különbség a lézer erejében és ezt a tartományt nem is ajánlják használni, mivel jelentősen csökken a tubus élettartama. Így ezt a tartományt sem használom a vizsgálatokhoz. A vizsgálat eredményeit egy táblázatban rögzítettem. A vágási mintadarabokat az előző vizsgálatokhoz hasonlóan 1/1, 1/2, ... 1/25-ig jelöltem. Minden alapanyag esetében huszonöt különböző beállítást határoztam meg, úgy, hogy fokozatosan növeltem az erőt vagy a sebességet.

A vágás során egy 5 x 2 cm-es, kerekített sarkú négyzetet vágtam a géppel. [3.1. ábra]



3.1. ábra: A vágási mintadarabom CorelDraw programban megszerkesztve [saját ábra]

3.2.1 A kasírozott kötészeti szürkelemezt lézervágása

A lézervágásos vizsgálatok elvégzését a kasírozott kötészeti szürkelemezzel kezdtem. A lemezt behelyeztem a megfelelő helyre, majd beállítottam a fókusztávolságot, amely ennek a lézernek, amellyel dolgoztam 4 mm, az anyag felülete és a lézervágó fejének a legalacsonyabb pontja közti távolság. Ezt követően elindítottam az első vágási beállításokkal, ami a 10 mm/s sebesség és 10% erőt jelenti. Ezt a vágást neveztem 1/1-nek. Az első anyagból az első vágás. Ez az erő és sebesség nem volt megfelelő, ezért előbb a sebességet növeltem fokozatosan 20; 40; 80 majd 160 mm/s-ra. Mivel ezek mindegyike kedvezőtlen volt a vágáshoz a sebességet visszaállítottam 10 mm/s-ra és az erőt növeltem 20%-ra. Ekkor már átvágta az anyagot. Tehát minimálisan ekkora erőre van szükség. Ez után megvizsgáltam, hogy növelhetném-e a sebességet is, mivel minél

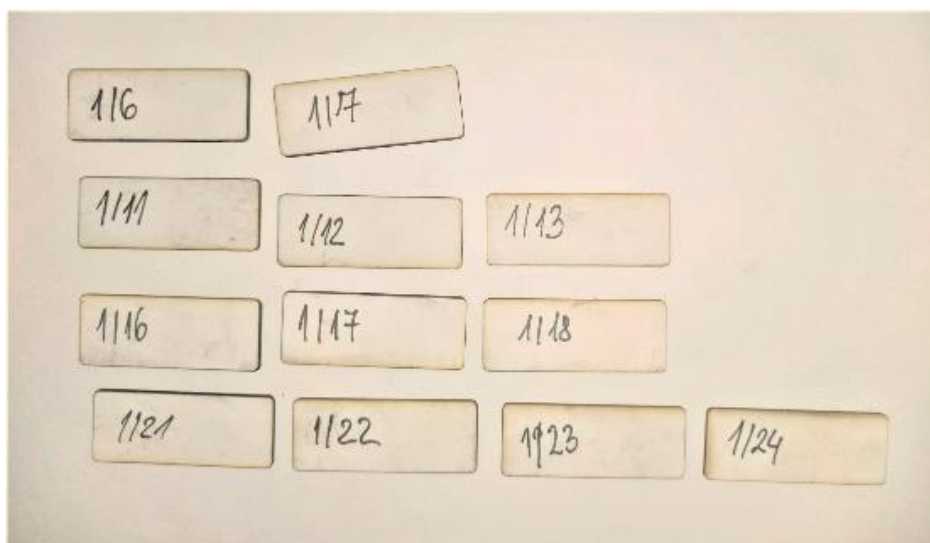
gyorsabb annál hamarabb lesz kész a darab, továbbá csökkenthetjük az anyag beégését is a vágás vonala mentén.

A vágások során sorra növeltem a sebességet és az erőt ennek eredményeként már nagyobb sebességnél is átvágta a kasírozott kötészeti szűrkelemezt.

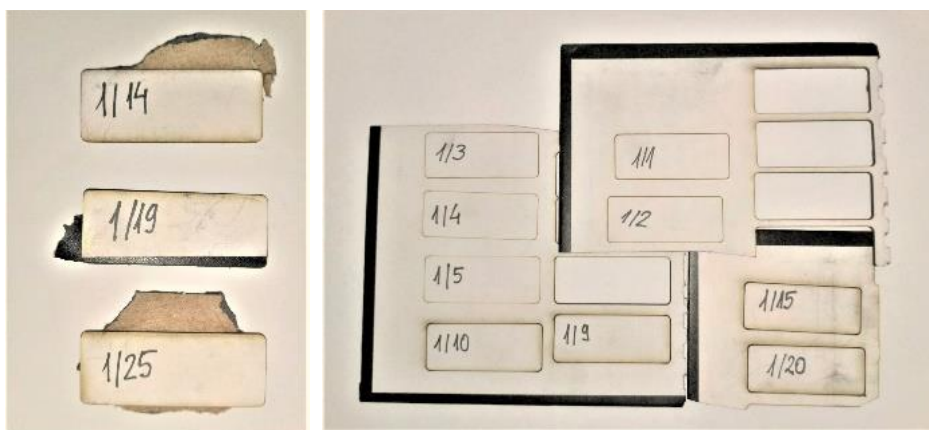
3.5. táblázat: A kasírozott kötészeti szűrkelemez lézervágási adattáblázata

1/1 ✗ erő: 10 sebesség: 10	1/2 ✗ erő: 10 sebesség: 20	1/3 ✗ erő: 10 sebesség: 40	1/4 ✗ erő: 10 sebesség: 80	1/5 ✗ erő: 10 sebesség:160
1/6 ✓ erő: 20 sebesség: 10	1/7 ✓ erő: 20 sebesség: 20	1/8 ✓ erő: 20 sebesség: 40	1/9 ✗ erő: 20 sebesség: 80	1/10 ✗ erő: 20 sebesség:160
1/11 ✓ erő: 40 sebesség: 10	1/12 ✓ erő: 40 sebesség: 20	1/13 ✓ erő: 40 sebesség: 40	1/14 ✗ erő: 40 sebesség: 80	1/15 ✗ erő: 40 sebesség:160
1/16 ✓ erő: 75 sebesség: 10	1/17 ✓ erő: 75 sebesség: 20	1/18 ✓ erő: 75 sebesség: 40	1/19 ✗ erő: 75 sebesség: 80	1/20 ✗ erő: 75 sebesség:160
1/21 ✓ erő: 95 sebesség: 10	1/22 ✓ erő: 95 sebesség: 20	1/23 ✓ erő: 95 sebesség: 40	1/24 ✓ erő: 95 sebesség: 80	1/25 ✗ erő: 95 sebesség:160
sebesség [mm/s]				erő [%]

Leggyorsabb sebességgel a legnagyobb erő (ami 95%) mellett tudta átvágni az anyagot. Ugyanakkor a 20-75% közötti erő nem jelentett különösebb változást az anyag átvágásának tekintetében. A legjobb beállítás, amit alkalmazni érdemes az az 1/24-el jelölt 95% erő és 80 mm/s-os sebesség. A 10% erő semmilyen sebesség mellett sem képes átvágni az anyagot, illetve 160 mm/s-os sebesség még a legnagyobb erő esetében sem volt megfelelő mivel jó részt ugyan kivágta az anyagot, de nem mindenhol vágta át. Ezt



3.2. ábra: A kasírozott kötészeti szürkelemezről vágott megfelelő mintadarabok [saját ábra]



3.3. ábra: A kasírozott kötészeti szürkelemezről vágott nem megfelelő mintadarabok [saját ábra]

láthatjuk azokon a részeken, ahol a lemez anyagjában szakadt el és nem elvágódott. Ilyen az 1/14-es és a 1/19-es beállítás is.

Annak ellenére, hogy több beállítás is alkalmas volt az alapanyag átvágására, elég zavaró, hogy a lézervágás során a vágás élén korom keletkezik, ami aztán a kézi anyagmozgatás során a gépkezelő rátapogat szinte mindenhová és koszos lesz a kasírozott kötészeti lemez, ami nem jó. Ez egy végtermék esetében számomra elfogadhatatlan. Ezért nem tartom alkalmasnak ez az anyag vágására a lézert, legfeljebb mintadarab esetében csak.

3.2.2 A hullámpapírlemez lézervágása

A mintadarabot nem változtattam, ugyanazt a négyzetet vágtam ki ebből az anyagból is. Miután behelyeztem a lézervágó gépbe, beállítottam az ennek az anyagnak megfelelő fókusz távolságot, ami állandóan 4 mm. Az első beállítás a 10 mm/s sebesség és a 10%

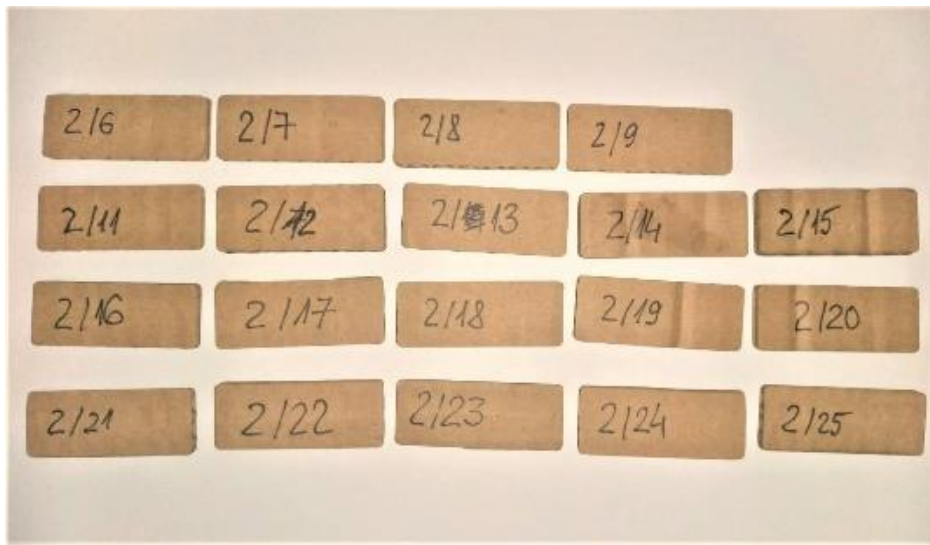
3.6. táblázat: A hullámpapírlemez lézervágási beállításai

2/1 ✗ erő: 10 sebesség: 10	2/2 ✗ erő: 10 sebesség: 20	2/3 ✗ erő: 10 sebesség: 40	2/4 ✗ erő: 10 sebesség: 80	2/5 ✗ erő: 10 sebesség: 160
2/6 ✓ erő: 20 sebesség: 10	2/7 ✓ erő: 20 sebesség: 20	2/8 ✓ erő: 20 sebesség: 40	2/9 ✓ erő: 20 sebesség: 80	2/10 ✗ erő: 20 sebesség: 160
2/11 ✓ erő: 40 sebesség: 10	2/12 ✓ erő: 40 sebesség: 20	2/13 ✓ erő: 40 sebesség: 40	2/14 ✓ erő: 40 sebesség: 80	2/15 ✓ erő: 40 sebesség: 160
2/16 ✓ erő: 75 sebesség: 10	2/17 ✓ erő: 75 sebesség: 20	2/18 ✓ erő: 75 sebesség: 40	2/19 ✓ erő: 75 sebesség: 80	2/20 ✓ erő: 75 sebesség: 160
2/21 ✓ erő: 95 sebesség: 10	2/22 ✓ erő: 95 sebesség: 20	2/23 ✓ erő: 95 sebesség: 40	2/24 ✓ erő: 95 sebesség: 80	2/25 ✓ erő: 95 sebesség: 160
sebesség [mm/s]				erő [%]

erő volt. Ezt követően növeltem a sebességet majd az erőt. Az alkalmazott beállításokat egy táblázatba rögzítettem.

A hullámlemez karton szerkezeti kialakításából fakadóan sok a légüres tér, amit nem kell vágni, ezért már kis erő mellett is gyorsan lehet vágni. Az a kötészeti lemezekkel ellentétben már a 40% erővel és a 16 mm/s sebességgel már szépen átvágható a hullámlemez karton. Meglátásom szerint ez is a legjobb vágási beállítás, amelyet a táblázatban 2/15-el jelöltem. Ez a beállítás az, ahol hatékonyan és kis erő befektetéssel vághatunk. A 2/10-es beállítás már majdnem jó eredményt hozott, de nem volt teljes a vágás. Volt benne egy kis szakasz, ahol nem sikerült elvágja az alappapírt. Ezt láthatjuk

a következő képeken. Kiemelném még a 75-95% közti vágási beállításokat. Ezek esetében ugyan nem annyira feltűnően, de a nagy erő miatt a vágás vonala megvastagodott, különösen a kis sebesség esetében (10-20 mm/s), ami gondot jelent a perforálás vagy a kis bevágások esetében.



3.4. ábra: A hullámpapírlamezből vágott megfelelő mintadarabok [saját ábra]



3.5. ábra: A hullámpapírlamezből vágott nem megfelelő mintadarabok [saját ábra]

A hullámpapírlamezből vágott mintadarabok összességében szépek. Nincsenek külső elkoszolódások rajta. A vágott darabok éle alig kormozódik be, azért, mert vékony anyagvastagságból felépülő anyagszerkezet jellemzi a hullámpapírlamezt.

3.2.3 A kötészeti szürkelemez lézervágása

A harmadik alapanyag, amit megvizsgáltam nagyban hasonlít az elsőhöz, hiszen ez is kötészeti szürkelemez, de az elsővel ellentétben ez teljesen nyers formában van, nincs kasírozva, ezért éreztem szükségszerűnek a vizsgálatát, továbbá a vastagsága is eltérő, vastagabb, mint a kasírozott kötészeti szürkelemezem.

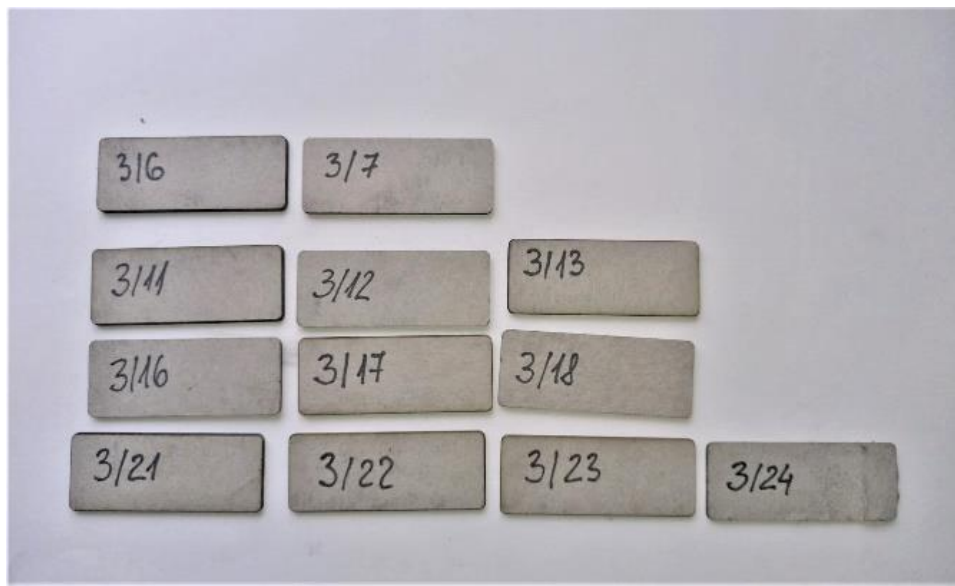
Elhelyeztem a lézervágó munkafelületén, majd elvégeztem a szükséges beállításokat és elindítottam az első vágást. Először a 10% erő és 10 mm/s paraméterekkel vizsgáltam, majd fokozatosan emeltem mindkét beállítást.

3.7. táblázat: A kötészeti szürkelemez lézervágási beállításai

3/1 ✗ erő: 10 sebesség: 10	3/2 ✗ erő: 10 sebesség: 20	3/3 ✗ erő: 10 sebesség: 40	3/4 ✗ erő: 10 sebesség: 80	3/5 ✗ erő: 10 sebesség: 160
3/6 ✓ erő: 20 sebesség: 10	3/7 ✓ erő: 20 sebesség: 20	3/8 ✗ erő: 20 sebesség: 40	3/9 ✗ erő: 20 sebesség: 80	3/10 ✗ erő: 20 sebesség: 160
3/11 ✓ erő: 40 sebesség: 10	3/12 ✓ erő: 40 sebesség: 20	3/13 ✓ erő: 40 sebesség: 40	3/14 ✗ erő: 40 sebesség: 80	3/15 ✗ erő: 40 sebesség: 160
3/16 ✓ erő: 75 sebesség: 10	3/17 ✓ erő: 75 sebesség: 20	3/18 ✓ erő: 75 sebesség: 40	3/19 ✗ erő: 75 sebesség: 80	3/20 ✗ erő: 75 sebesség: 160
3/21 ✓ erő: 95 sebesség: 10	3/22 ✓ erő: 95 sebesség: 20	3/23 ✓ erő: 95 sebesség: 40	3/24 ✗ erő: 95 sebesség: 80	3/25 ✗ erő: 95 sebesség: 160
sebesség [mm/s]				erő [%]

A kötészeti lemezem vastagságával tudom indokolni, hogy miért tudja valamivel nehezebben vágni a lézer ezt, az első vizsgálati anyaghoz képest. Ennek vastagsága 1890 µm, míg a kasírozott kötészeti lemez vastagsága 1790 µm volt. A vágások több mint fele nem is sikerült, azaz nem vágta át az anyagot. Legjobb beállításnak a 3/13-as beállítást találok, amely 40% erővel és 40 mm/s sebességgel képes vágni a kötészeti szürkelemezt.

A 3.6. ábrán látható 3/24-es számú mintadarab vágása nem volt teljesen sikeres, ugyanis a mintadarab felületéből felszakadt a szürkelemez, azért, mert nem megfelelő a vágási beállítás. A mintadarabok koszolódása jelentkezett a vágási élek kormozódása miatt. A lézerstancolás mégis jó megoldás lehet, mivel a legtöbb esetben a szürkelemezre valamilyen anyaggal bevonásra kerül. Elsődlegesen a prototípus stancolások modellezéséhez jó megoldás.



3.6. ábra: A kötészeti szürkelemezről vágott megfelelő mintadarabok [saját ábra]



3.7. ábra: A kötészeti szürkelemezről vágott nem megfelelő mintadarabok [saját ábra]

3.2.4 A duplex karton lézervágása

Utolsóként vizsgáltam meg a duplex kartont. A vizsgálathoz használt alapanyagom egyik fele sima szürke, másik oldala fehér mázolt bevonatú, ezért a vágások némelyekét egyik és másik oldalról is elvégeztem, de nem mutatkozott semmiféle eltérés. Mivel az előzőkhöz képest ez egy vékonyabb anyag, ezért sokkal több sikeres vágás volt. Több megfelelő beállítást is találtam. Behelyeztem a lézervágó gépbe, majd beállítottam a fókusz-távolságot, és a számítógépen a 4/1-es mintának megfelelő beállításokat.

3.8. táblázat: A duplex karton lézervágási beállításai

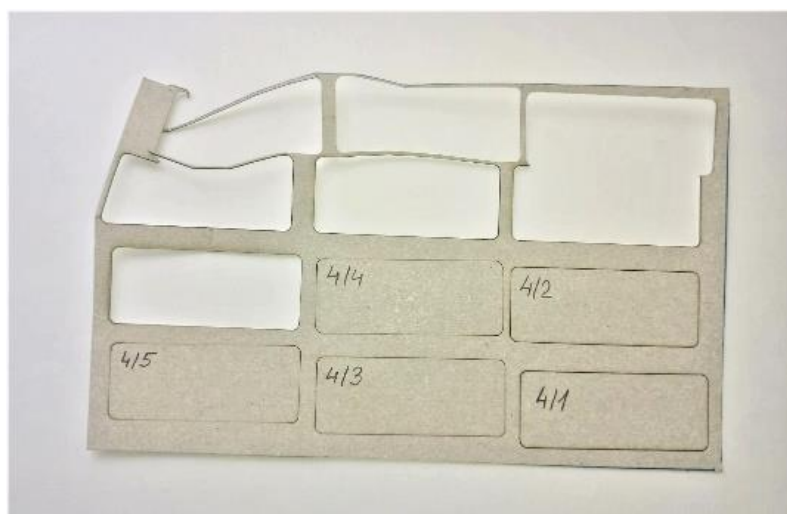
4/1 ✗ erő: 10 sebesség: 10	4/2 ✗ erő: 10 sebesség: 20	4/3 ✗ erő: 10 sebesség: 40	4/4 ✗ erő: 10 sebesség: 80	4/5 ✗ erő: 10 sebesség: 160
4/6 ✓ erő: 20 sebesség: 10	4/7 ✓ erő: 20 sebesség: 20	4/8 ✓ erő: 20 sebesség: 40	4/9 ✓ erő: 20 sebesség: 80	4/10 ✓ erő: 20 sebesség: 160
4/11 ✓ erő: 40 sebesség: 10	4/12 ✓ erő: 40 sebesség: 20	4/13 ✓ erő: 40 sebesség: 40	4/14 ✓ erő: 40 sebesség: 80	4/15 ✓ erő: 40 sebesség: 160
4/16 ✓ erő: 75 sebesség: 10	4/17 ✓ erő: 75 sebesség: 20	4/18 ✓ erő: 75 sebesség: 40	4/19 ✓ erő: 75 sebesség: 80	4/20 ✓ erő: 75 sebesség: 160
4/21 ✓ erő: 95 sebesség: 10	4/22 ✓ erő: 95 sebesség: 20	4/23 ✓ erő: 95 sebesség: 40	4/24 ✓ erő: 95 sebesség: 80	4/25 ✓ erő: 95 sebesség: 160
sebesség [mm/s]				erő [%]

A duplex karton legtöbb vágási kísérlete sikeres volt, átvágta a lézer a kartont. A sikertelen vágások mindegyikét a 10%-os vágási erő eredményezte, ez az erő nem volt elégséges. A legjobb vágási beállítás a 4/10-es, 20% erővel és 160 mm/s sebességgel.

A vágási élek minimálisan szennyezettek, de ha nagyon nagy erővel vág a lézer, 75-95%, akkor a vágás mentén befüstölődik a darab. Ez könnyedén letisztítható, de kisebb erővel való vágással el is kerülhető.



3.8. ábra: A duplex kartonból vágott megfelelő mintadarabok [saját ábra]



3.9. ábra: A duplex kartonból vágott nem megfelelő mintadarabok [saját ábra]

A vizsgálat végeredményeként megállapítható, hogy a 10%-os erő egyik alapanyag esetében sem volt elégséges erő az anyag átvágásához a sebességtől függetlenül. Ez az erőtartomány leginkább jelölésre lenne alkalmas. A sebesség határozta meg minden esetben azt, hogy mennyi időbe telt a mintadarab kivágása. Ezért, ha a legrövidebb időn belül a legtöbb darabszámot szeretnénk kivágni, akkor a táblázatból azt a beállítást kell kiválasztani, amelyiknél a legnagyobb sebességgel és a legkisebb erővel vágta ki a mintadarabot.

4. Összefoglalás

Az elmúlt években megismerkedtem a lézervágás technológiájával jelenlegi munkahelyemen és a tanulmányaim során a papírmegmunkálás folyamataival. Ebből fakadóan szerettem volna a szakdolgozatom során megvizsgálni a lézerstancolás lehetőségét a munkahelyemen üzemelő CO₂ gázlézer segítségével. A nyomda- és a csomagolóipar legfontosabb alapanyagait vizsgáltam meg. Ezek voltak a kötészeti szürkelemez, a hullámlemez karton és a duplex karton. Előbb méréseket végeztem az adott anyagok tömegére és vastagságára vonatkozóan. Majd meghatároztam a négyzetmétertömegüket. Ezt követően a lézervágó és gravírozó gép segítségével vágási próbákat végeztem anyagonként 25 különböző beállítással. Az elvégzett vágási vizsgálat eredményeként megállapítható, hogy több beállítás is volt, amellyel sikerült kivágni a mintadarabot az alapanyagból. Az is kiderült, hogy 10%-os erő esetén egyik anyagot sem vágta át, csupán jelölést hagyott a felületen. Lehetne akár ezt a lehetőséget is használni a lézerstancolás során. A kötészeti szürkelemez esetében nem használható a lézerstancolás, mivel a keletkező füst és korom beszennyezi a mintadarabot. A hullámlemez ellenben gyorsan és szépen vágható ahogy a duplex karton is.

A kasírozott kötészeti szürkelemez négyzetmétertömege 1160 g/m². A mintadarabok átlagos tömege kerekítve 11,6 g volt és a mérési eredmények szórása 0,25. Az átlagos vastagsága 1790 µm és a mérések szórása 74,9. A legjobb beállítás, az 1/24-el jelölt 95% erő és 80 mm/s-os sebesség. A 10% erő semmilyen sebesség mellett sem képes átvágni a kasírozott kötészeti szürkelemezt.

A második vizsgálati anyagom a hullámpapírlemez volt. Ennek négyzetmétertömege 366 g/m². Az átlagos tömege a mintadaraboknak 3,66 g volt és a mérések szórása 0,25. Az átlagos vastagsága 3686 µm és az elvégzett mérések szórása 66,4. A legjobb vágási beállítás, amelyet a táblázatban 2/15-el jelöltem a 40% erő és 160 mm/s sebesség. A 20% erő ugyan ekkora sebességgel már közel elégséges volt, de egy kis részen nem vágta el az alappapírt ezért nem volt megfelelő a beállítás.

Harmadjára a kötészeti szürkelemez mérési vizsgálatát végeztem el. Ennek négyzetmétertömege 1210 g/m². A mérések átlaga 12,1 g, szórása pedig 0,25. A

vastagsága 1890 μm . A mérések szórása 24,4. Legjobb beállításnak a 3/13-as beállítást találok, amely 40% erővel és 40 mm/s sebességgel képes vágni a kötészeti szürkelemezt. A 10%-os erő nem volt elégséges a vágáshoz, ahogy a 80 mm/s feletti sebesség sem. A mintadarabok koszolódása jelentkezett a vágási élek kormozódása miatt.

A duplex karton volt a negyedik alapanyag, amelyet vizsgáltam. A mintadarabok tömegének átlaga 4,1 g és a mérési eredmények szórása 0,16. A négyzetmétertömege 410 g/m². A vastagsági mérések átlaga 498 μm . Az elvégzett méréseim szórása 18,26. Több megfelelő beállítást is találtam. A legjobb vágási beállítás a 4/10-es, 20% erővel és 160 mm/s sebességgel. A vágási élek minimálisan szennyezettek, de ha nagyon nagy erővel vág a lézer, 75-95%, akkor a vágás mentén befüstölődik a darab. Javasolt ezért, hogy kis erővel vágjuk.

A vizsgálat végeredményeként megállapítható, hogy a 10%-os erő egyik alapanyag esetében sem volt elégséges erő az anyag átvágásához a sebességtől függetlenül. Ez az erőtartomány leginkább jelölésre lenne alkalmas. A sebesség határozta meg minden esetben azt, hogy mennyi időbe telt a mintadarab kivágása. Ezért, ha a legrövidebb időn belül a legtöbb darabszámot szeretnénk kivágni, akkor a táblázatból azt a beállítást kell kiválasztani, amelyiknél a legnagyobb sebességgel és a legkisebb erővel vágta ki a mintadarabot.

5. Summary

In recent years, I became familiar with the technology of laser cutting at my current workplace and with the processes of paper processing during my studies. As a result, I wanted to investigate the possibility of laser punching using the CO₂ gas laser operating in the workplace during my thesis. I examined the most important raw materials of the printing and packaging industry. These were binding gray board, corrugated board and duplex board. First, I measured the weight and thickness of the given materials. I finished their square meter mass. After that, with the help of the laser cutting and engraving machine, I performed cutting tests with 25 different settings for our material. As a result of the cutting test, it can be established that there were several settings with which it was possible to cut the sample piece from the raw material. It also turns out that at 10% force, it did not cut through any of the materials, but only left a mark on the surface. You could even use this option during laser cutting. Laser punching cannot be used in the case of binding gray plate, as the resulting smoke and soot contaminate the sample. On the other hand, corrugated board can be cut quickly and neatly, as can duplex cardboard.

During my university studies, I acquired essential knowledge for my thesis, so I am very grateful and indebted to my teachers for their enthusiastic, selfless support. I would also like to thank the study supervisors and other support staff for the work they have given me so that I can study. I would also like to thank Ani Tsupa Studio SRL., which hosted my practical tests, and managing director István Simó Zsolt Mednyánszky.

6. Köszönetnyilvánítás

Az egyetemi tanulmányaim során a dolgozatomhoz elengedhetetlen tudásra tettem szert, ezért nagyon hálás vagyok és köszönettel tartozom tanárain és tanárnőim lelkes, önzetlen támogatásáért. Valamint szeretném megköszönni a tanulmányi felelősök és más kisegítő személyzet munkáját, csoporttársaim nagylelkű segítségét, amellyel hozzájárultak, hogy tanulhassak.

Valamint köszönetet szeretnék mondani a gyakorlati vizsgálataimnak helyet adó Ani Tsupa Studio SRL.-nek, Mednyánszky Simó Zsolt István ügyvezető igazgatónak és kedves feleségének Anna Máriának.

7. Irodalomjegyzék

1. Kele Kitti Noémi: A PAPÍR JÖVŐJE, A MÚLT TECHNIKÁJA, TDK dolgozat, Budapest, 2012
2. Dr. Ing. Klaus Tradowsky: A Laser ABC-je, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1971
3. https://www.robotics-3d.com/5296-large_default/piccolo-plotter-laser-co2-tipo-lux-area-di-lavoro-220-x-300mm-40.jpg (online: 2022. 08. 04.)
4. https://www.innoteka.hu/cikk/a_lezerek_elterjedese.1643.html (online: 2022. 08. 27.)
5. <https://laserandaesthetics.co.uk/media/1683/candela-co2re-laser.jpg> (online 2022. 08 27.)
6. https://ce8dc832c.cloudimg.io/cdn/n/n@25a71e1c44a54e94c6f70df04233b710f2fa1f75/cs/2019/09/5d6f91048b330/Dlamierz_laserowy_1.jpg (online: 2022. 09. 02.)
7. <https://i.ytimg.com/vi/MPQElGo4AHI/hqdefault.jpg> (online: 2022. 09. 03.)
8. https://www.rohm.com/documents/11303/9045112/img_01.jpg/ac78ed0e-2c05-a6aa-579f-5df72bf0fa03?t=1618972600567 (online: 2022. 09. 10.)
9. <https://ae01.alicdn.com/kf/H957e56e5f5f24f9baed12296aab965b2i/Lampu-Halaman-Surya-Tahan-Air-Luar-Ruangan-Lampu-Proyektor-Laser-Taman-Lanskap-Dekorasi-Lampu-Liburan-Natal.jpg> (online: 2022. 09. 10.)
10. https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b0/Flickr_-_Israel_Defense_Forces_-_Nachal_Brigade_Reconnaissance_Battalion_in_22Commando22_Training_28229.jpg (online: 2022. 09. 25.)
11. <https://5.imimg.com/data5/SELLER/Default/2020/11/KY/TQ/WW/44403834/51oy0ufgnnl-sl1500--1000x1000.jpg> (online: 2022. 09. 26)
12. <http://www.lasertanacsado.hu/images/image0133.jpg> (online: 2022. 09. 27)
13. <https://www.officedirect.ro/image/catalog/ghilotina-hartie-kw-trio-3941.jpg> (online: 2022. 10. 02)
14. Papp Lajos: A vágás technológiája – átdolgozta Dr. Horváth Csaba – elearning-uni.obuda

15. <https://www.lamitrade.hu/kcfinder/upload/images/termek-kep/nagykep/MOHR-NET-500x500.jpg> (online: 2022. 10. 05)
16. <https://gbam.hu/stancolas/> (online: 2022. 10. 12)
17. https://deszan-cutters.hu/wp-content/uploads/2018/11/Stanca19325_768x550.jpg (online: 2022. 10. 12)
18. <https://www.stanca.hu/rotacios2.jpg> (online: 2022. 10. 12)
19. <https://www.nis.ro/ProductFirstFileHandler/300/300/cyklos-c-press-440-480.jpg> (online: 2022. 10. 12)
20. <https://designakademia.hu/mi-fan-terem-a-stancolas/> (online: 2022.10.18)
21. Papp Lajos: A hajtogatás technológiája – átdolgozta Dr. Horváth Csaba – elearning-uni.obuda
22. <https://www.machineryeurope.com/machine/stahl-ti-52> (online: 2022. 11. 15)
23. <http://flamm-art.com/lezergravirozas-gravirozas/stancolas-stancolo/> (online: 2022. 11. 20.)
24. <https://www.lyraprint.hu/paperinf/> (online: 2022. 11. 25.)
25. Iványi István: Nyomdaipari anyagok, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1959
26. <https://www.panton.hu/hu/termekeink/lemezek-25/konyvkoteszeti-szurkelemez-9538> (online: 2022. 12. 08)
27. <https://docplayer.hu/20386775-Hullamtermekek-hullampapirlemezek-dr-koltai-laszlo.html> (2023. 12. 17.)
28. <https://www.fiorex.hu/fiorex-fio-0226-kartonlemez-22b-190x290-0023kgdb-583> (online: 2022. 20)
29. <https://regiopapir.hu/termek/duplex-karton-grafopack-blade-350gr-70x100-cm/> (online: 2022. 12. 20)
30. <http://bdcncchina.com/2019/2-4-co2-laser-cutter-and-engraver-bcl-x.html> (online: 2022. 12. 27)
31. <https://dacora.ro/bodor-bcl-1610x2h/> (online: 2023. 01. 09.)
32. <http://bdcncchina.com/2019/2-4-co2-laser-cutter-and-engraver-bcl-x.html> (online: 2023. 01. 09.)
33. <https://www.bodorlaser.ro/product/bcl-1309xuf/> (online: 2023. 01. 11.)