

TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI DOLGOZAT

TRANSPARENTS ANYAGOK: AZ ÜVEG ÉS ALTERNATÍVÁI

Óbudai Egyetem, Ybl Miklós Építéstudományi Kar

Építészmérnöki Intézet

2023/24. tavaszi félév

Szerző: Papp Enikő, Építészmérnök BSc IV.

Konzulens: Mizsei Anett

ABSZTRAKT

Az építészet történetének kezdete óta az ember az épületeitől védelmet vár, de azt is, hogy onnét a környezetére rálásson. Kezdetben ez a túlélés kulcsa volt a természetben. A technológia fejlődésével aztán egyre fejlettebb védelmet tudott kialakítani a települések, várak, erődök stb. elhelyezésével, és a transzparencia szerepe is sokrétűbbé vált. (Fénnyel való játék, esztétika, stb.) A kilátás a külvilággal való kapcsolat, a térlehatárolások sokfélesége a transzparens szerkezetek fejlődését is magával hozta. Átlátszó és törékeny – ezek a jellemzők hosszú időn át meghatározták mindazt, amit az "üveg" jelentett. Azonban az innováció és a tudomány folyamatos fejlődése új lehetőségeket kínál számunkra az anyagok világában. Egyre inkább elmozdulunk az egykor megszokottól, és megkezdjük az új, kreatív megoldások keresését, különösen olyan területeken, ahol az üveg hagyományosan alkalmazott anyag volt. Ma az átlátszó, áttetsző vagy fényáteresztő anyagok fejlesztésének két útja figyelhető meg (a szakirodalmak alapján): az üveg anyagának fejlesztésével, amelynek során az üveg nemkívánatos tulajdonságait (pl. törékenysége, belső tér túlzott felmelegedése) igyekeznek kiküszöbölni. A másik út az új, eddig nem használt anyagok létrehozása. Ez a tanulmány egy új távlatot kíván nyitni az anyagok világában, bemutatva azokat az alternatív megoldásokat, amelyek lehetőséget kínálnak a hagyományos üveg helyettesítésére. A kutatás célja, hogy áttekintést adjon a ma elérhető, vagy még fejlesztés alatt álló anyagokról, vizsgálja egyedi tulajdonságaikat és összehasonlítsa őket alkalmazási lehetőségeiket illetően. ösztönözze a további innovációt és az új ötletek kialakítását az anyagtudomány területén. Vizsgáljuk, hogy milyen egyedi tulajdonságokkal rendelkeznek ezek az anyagok, és milyen területeken lehetnek alkalmazhatók hatékonyan.

TARTALOMJEGYZÉK

Bevezető.....	4
Átlátszóság.....	4
Megszokott átlátszó anyagaink.....	6
Üveg.....	6
Módosított üvegek.....	7
Plexi.....	8
Polikarbonát.....	9
Átlátszó fa.....	11
Fényáteresztő beton.....	13
Átlátszó alumínium.....	14
Átlátszó kerámia.....	16
Összegzés.....	18
Forrásjegyzék.....	19

Bevezető

Az átlátszó anyagok mindig is kulcsszerepet játszottak az emberiség történelmében. Ahhoz, hogy megértsük, mit jelent átlátszóság fogalma, meg kell válaszolnunk néhány kérdést.

Egy anyag azon képességét, hogy a fényt szóródás nélkül képes átereszteni, átlátszóságnak vagy transzmisszióknak nevezzük. [4]

Az átlátszóság nem csak fizikai tulajdonság, hanem a tudás és az innováció forrása is. Az átlátszó anyagok lehetővé teszik számunkra, hogy más szemszögből lássuk a világot, hogy túllépjünk a láthatóság határain, és hogy életünk számos területén alkalmazzuk őket. Építészeti szempontból a fényáteresztés mellett a térkapcsolatok gazdag lehetőségeit nyitja meg, ha valamilyen mértékben transzparens anyagokkal, szerkezetekkel tervezünk.

Az átlátszó anyagok annyira sokoldalúak és fontosak, hogy szinte mindenhol megtalálhatók, a mindennapi életünktől kezdve a legbonyolultabb ipari alkalmazásokig.

Készüljünk fel tehát arra, hogy elmerüljünk egy olyan világban, ahol az átlátszó anyagok új lehetőségeket nyitnak meg, és átalakítják mindennapi életünket.

Átlátszóság

Általános szabály, hogy a laboratóriumi körülmények közt kimérhetően 85% feletti fényáteresztési százalékkal bíró anyagok "átlátszónak" minősülnek. A vizsgált minta vastagsága azonban befolyásolja az érzékelt átlátszóságot vagy optikai tisztaságot, azaz a fálvastagság növekedésével csökken. [5]

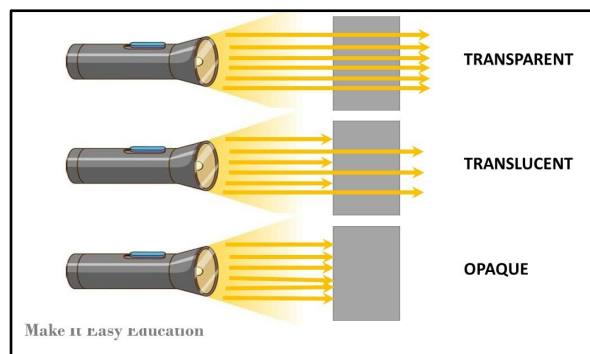
“Először is tudni kell, hogy az átlátszóság nem azt jelenti, hogy szabad szemmel nem látható, hanem azt, hogy bizonyos hullámhosszokon egy tárgy nem észlelhető. Az átlátszóságról leggyakrabban a látható tartományba tartozó fény hullámhosszára utalnak. Emiatt, amit a szemünkkel nem látunk, azt átlátszónak mondjuk, de mégis sok más hullámhossz létezik, mint például az infravörös, a mikrohullámú vagy a röntgensugárzás.” [5]

Az érzékszervi szempontból átlátszóságnak nevezett jelenséget tudományos szempontból vizsgálva a fényáteresztés jellemzi. Ez a szabványosított műanyag próbatesten* áthaladó beeső fény százalékos aránya. Minél nagyobb az áteresztőképesség %, annál nagyobb az átlátszóság. A jó átlátszóságú anyag nagy áteresztőképességgel és alacsony homályossággal rendelkezik. A műanyagok átlátszóságának mérése az áteresztett fény százalékos arányában, az úgynevezett áteresztőképességben történik, nem pedig egy konkrét mértékegységben. Az átlátszóság vagy áttetszőség szintjét különböző tényezők befolyásolják, beleértve a polimer típusát és szerkezetét, valamint kristályosságát. [6]

* A fényáteresztést egy speciális, erre alkalmas műszerrel mérik, amely fényforrásból, forrásnyílásból, lencserendszerből, mintatartóból, befogadónyílásból, fotoelektromos detektorból és jelző- vagy regisztráló rendszerből áll. A műszerben elhelyezett fényforrás energiaellátása folyamatosan kiegyenlített kell maradjon, különben a fényerősség változása a kimért áteresztett fény mennyiségben is hullámzást okozna. Ugyanígy fontos, hogy a vizsgált anyag felülete és a beeső fénysugár iránya közt $0,1^\circ$ vagy annál kisebb szögeltérés legyen. Az így mért áteresztőképesség gyakorlati szempontból jól korrelál az emberi érzékszervek által felfogható átlátszósággal. Ezzel az eljárással meghatározható %-os arányban a fényáteresztő-képesség, ugyanakkor vannak korlátai is: diffúz (a fényt szóró) anyagok esetében nem ad pontos eredményt, illetve mint a fentiekből látható, a műszer sajátosságaitól is nagyban függ az eredmény. Épp ezért csak korlátozottan hasonlíthatók össze például különböző műszereken mért értékek, főképp a kevésbé áteresztő anyagok esetében, ahol a műszer kis pontatlansága is jelentős eltérést okoz a mért értékekben. Mindezzel együtt jelen dolgozatban a különböző átlátszó, fényáteresztő anyagok jellemzésére a %-os rendszert alkalmazzuk, a szakirodalomban fellelhető adatok alapján. [7]

Gyakorlati alkalmazásuk szempontjából az anyagokat három kategóriába sorolhatjuk:

- Az (objektum) **átlátszó** – fény átsüt rajta, és látjuk mi van a másik oldalán.
- Az (objektum) **áttetsző** – láthatjuk a fényt átsütni rajta, de nem látjuk tisztán, mi van a másik oldalán.
- A (tárgy) **átlátszatlan** – fényt látunk a felületén, de nem lehet átlátni rajta. [8]



Kép 1 Átlátszó, áttetsző és átlátszatlan

Megszokott átlátszó anyagaink

Az átlátszó anyagok sokoldalú alkalmazásaival és jellemzőivel napjainkban számos területen találkozhatunk. Az üveg, a plexi és a polikarbonát már szerves részét képezik mindennapi életünknek. Ezek az anyagok, látszólag észrevétlenül, de mégis megbízhatóan vannak jelen a mindennapjainkban. Nemcsak a használók megszokása, de az ipar és a technológia, a beépítési szabályok, a szabványok és gyártói-forgalmazói kör is nagyrészt ezekre épül, így nehezen elképzelhető, hogy egy új anyag fejlesztése áttörést hozzon ebben az ágazatban. Azonban az új innovációk és fejlesztések lehetővé teszik, hogy különböző alternatívákat kínáljunk ezen anyagok helyettesítésére/kiegészítésére. Ahhoz, hogy megismerjük az újonnan kifejlesztett anyagokat, meg kell ismerkednünk az üveg, a polikarbonát és a plexi kifejezésekkel, és röviden át kell tekintenünk a történeteiket.

Üveg

Az üveg egy széles körben elterjedt építőanyag. Nagyfokú átlátszósága, illetve vízállósága miatt nagy népszerűségnek örvend. Egyedi tulajdonsága közé tartozik, hogy kiváló elektromos szigetelő [42], illetve nagyszerűen újrahasznosítható [41], ami kifejezetten fontos szempont lehet, amikor egy átlátszó anyagot keresünk épületeinkhez.

Az alapüveg olyan típusú síküveg, amely adalékanyagok vagy kiegészítő anyagok használata nélkül megőrzi az üveg alapvető fizikai tulajdonságait. [2] Vékony szelvényekben a szabványos üveg optikailag tiszta, de a vastagság növekedésével az üvegben lévő vas jelenléte miatt zöldes árnyalatúvá válhat. Emiatt nehéz meghatározni, hogy az üvegnek pontosan mekkora a fényáteresztő képessége. [9]

Az üveg felfedezésére sokféle teória létezik. Széles körben úgy vélik, hogy az üvegekészítést a bronzkorban, az i. e. harmadik évezred vége felé fedezték fel. Régészeti kutatások alapján feltételezik, hogy a felfedezés Mezopotámiában történt, valószínűleg az üveges mázak és agyagtárgyak, például gyöngyök, csempék, kerámiák és más tárgyak használata miatt. A legkorábbi üvegekészítők a féldrágakövek és drágakövek helyettesítésére alkottak helyettesítő anyagokat, ami átlátszatlan és élénk színű üveg előállítását eredményezte. Az üvegyipar korai

szakaszában sokféle apró tárgyat gyártottak, például gyöngyöket, hengeres pecsétet, rudakat és betéteket. Ezeket a kőfaragók által alkalmazott technikákhoz hasonló hidegmegmunkálási technikákkal készítették. [10]

Az elsődlegesen előállított alapüvegeken felül széles körben használnak még az alapgyártási eljárás során módosított tulajdonságú üvegeket (például színezett üveg), vagy az alapgyártás követő technológiában kiegészítő eljárásokkal feldolgozott üveget is. [2] Most ezekre a módosított üvegtípusokra nézünk meg pár példát. A tanulmány elsősorban az alapanyagot érintő fejlesztésekre fókuszál. Az üvegek alkalmazásának sokfélesége miatt nem tér ki a különböző többrétegű, ragasztott stb. szerkezetekre, amelyek további lehetőségeket nyitnak az üveg egyes tulajdonságainak (töréskép, oldalirányú erők iránti ellenállás stb.) javítására.

Módosított üvegek

1. Szilikon-üveg

A szilikonbevonatú üvegszövet olyan anyag, amely mindkét oldalán speciálisan kifejlesztett szilikongumival van bevonva. Kiváló választás hőálló alkalmazásokhoz az öregedéssel, az időjárással és az UV-fénnyel szembeni nagyfokú ellenállóképessége miatt. [3]

A szilikonnak az üveggel való efféle kezelése vagy keverése a gyártás során az üveget rendkívül ellenállóvá és rugalmasabbá teheti. A szilikon hozzáadása továbbá fokozhatja az üveg töréssel és különböző környezeti hatásokkal szembeni ellenálló képességét, ami számos alkalmazásban értékes tulajdonság.

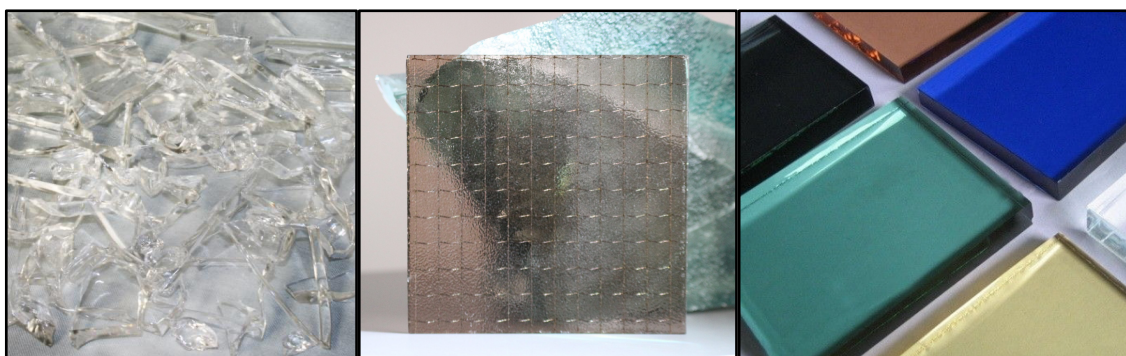
A szilikon üvegmembránokat fenntartható és környezetbarát építőanyagként tekintik, mivel könnyűek és hozzájárulhatnak az alacsony energiafelhasználású építési stratégiákhoz. [19]

2. Huzalbetétes üvegek

Ezt az üvegtípust úgy állítják elő, hogy egy körülbelül 0,5 mm vastag, a kereszteződéseknél ponthegesztett dróthálót préselnek a még képlékeny anyagba, amely a nyomógörgők között a felülettel párhuzamosan halad át. A drótfonatos üveg tartóssága és szilárdsága miatt népszerű választás erkélyek, előtetők és társasházak bejárati ajtajai számára. Érdeemes megjegyezni, hogy az üveg minimális vastagsága - a technológiából adódóan - 6 mm. Vannak olyan üvegtípusok, amelyek sík, torzításmentes, ferdített felülettel és csiszolt drótfonatos üveggel rendelkeznek. [20,21]

3. Anyagukban színezett üvegek

Az anyagukban színezett üvegek színét úgy érik el, hogy az olvadékba meghatározott összetételű fém-oxidokat kevernek. Gyakori típusok a szürke, kék, zöld, sárga vagy rózsaszín, de ezzel a technológiával még több szín elérhető. A különböző vastagságú termékek árnyalata eltérő, ez abból adódik, hogy minél vastagabb az üveg, annál sötétebb lesz a színe s annál kevésbé lesz tiszta az átlátszóság. [22]



Kép 2 Szilikon-üveg

Kép 3 Huzalbetétes üveg

Kép 4 Anyagukban színezett üvegek

Plexi

Bár Otto Rohm vegyész és feltaláló 1901-ben fogalmazta meg először a plexiüveg ötletét, a Rohm & Haas vállalat csak 1933-ban vezette be a piacra Plexiglas néven. A könnyű és törésálló plexi egy kiváló alternatívát nyújt az üvegek. Ma a plexit új és innovatív módon használják, többek között a koronavírus terjedése elleni küzdelem lehetséges eszközeként. A plexiüveg válaszfalakat éttermek, üzletek és más vállalkozások használják védőpajzsként a dolgozók és a vásárlók számára. [23]

A plexifólia nagyfokú átlátszóságáról ismert, a fény több mint 90%-át átengedi, így átlátszóbb, mint az üveg. Érdeemes megjegyezni, hogy az üveg több fényt ver vissza, és minél vastagabb az üveg, annál több elszíneződés látható. A plexiüveg azonban vastagságától függetlenül átlátszó marad. [24]

A plexi további előnyei közé tartoznak a magas ütésállóság, időjárás, - és UV állóság, illetve a könnyű súly. Sűrűsége 1,17 és 1,20 g/cm³ között van [45], (kétszer kevesebb, mint az üvegé)

ami azt jelzi, hogy viszonylag könnyű anyagról van szó. Ezen felül kiválóan vegyszerálló és tartós építőanyag. [43]

Bár a plexi kiváló vegyszerállóságot tudhat magáénak, mégis elmarad az üveg mögött. Az üveg a legtöbb savval szemben kiválóan ellenáll, mindössze kettő olyan típus van, amely jelentős károkat okoz: a fluorvizes sav és a foszforsav. A plexiben több ilyen sav kárt tesz; ilyen például ecetsav, aceton, acetonitril vagy az akrilnitril. [46,47]

Kedvező tulajdonságai ellenére fontos azonban figyelembe venni az akril - mint minden műanyag esetében - az életciklus végén történő kezelését. Ami az akrilok várható élettartamát illeti, az interneten elérhető információk ellentmondásos becsléseket tartalmaznak, amelyek 5 és 30 év között mozognak. Fontos azonban megjegyezni, hogy a legpontosabb becslés 5-10 év között van, amely idő alatt az akril ellenáll a fakulásnak és a lebomlásnak. [48]

Bár az akril technikailag újrahasznosítható, nem fogadják el széles körben a szemétszállítás során történő újrahasznosításra. Az akril a #7-es címkével van ellátva, amely általában kihívást jelentő anyagnak számít az újrahasznosítás szempontjából, annak ellenére, hogy műanyag termék. Bár egyes újrahasznosító cégek elfogadják az akrilt, nehéz lehet találni vállalatot, amely megfelelően újrahasznosítja. [49]

Polikarbonát

A polikarbonát nemcsak műanyag, hanem az egyik legátlátszóbb műanyagként is ismert, 85–88%-os látható fényáteresztő képességgel az átlátszó lapokon, ami összehasonlítható a 75–92%-os átlátszó float üveggel. [25]

A polikarbonát felfedezése 1898-ra nyúlik vissza, amikor Einhorn német kémikus oldhatatlan, infúzióhoz nem képes szilárd anyag képződését figyelte meg, miközben hidrokinnon foszfénnel való reagáltatásával ciklikus karbonátokat próbált előállítani. 1902-ben Bischoff és Hedenström hasonló térhálós, nagy molekulatömegű polikarbonátot kaptak; Dr. WH Carothers kiterjesztette a terméken végzett munkát. A Bayer laboratóriumai azonban csak 1953-ban állítottak elő nagy molekulatömegű lineáris hőre lágyuló polikarbonátot. 1957-ben a Bayer és a General Electric bejelentette a PC (poly-carbonate) független fejlesztését, és 1960 nyarán mindkét vállalat megkezdte a kereskedelmi gyártást. [26]

A polikarbonát számos előnnyel rendelkezik, többek között nagyfokú szilárdsággal, UV-állósággal és hővisszaverő képességgel, így számos célra alkalmas. Az égésgátló polikarbonát műanyagokat gyakran használják különböző elektromos alkalmazásokban. [27]

A polikarbonát sokoldalúan felhasználható anyag, amelynek felhasználási területei széles skálán mozognak, például

- műanyag lencsék
- szemüvegek,
- üvegházak
- sisakok, golyóálló "üveg",
- külső világítótestek,
- DVD-k,
- orvosi eszközök,
- motorkerékpárok, gyakran használnak biztonsági pajzsokat szélvédőik védelmére. [27]

A polikarbonát vegyi érzékenységgel rendelkezhet, ami azt jelenti, hogy bizonyos kémiai anyagok hatására könnyen megrongálódhat vagy megváltozhat az állapota. Továbbá, a polikarbonát drágább lehet, mint más műanyagok, ami korlátozhatja a szélesebb körű felhasználást vagy elérhetőséget. Ezenkívül nem alkalmas élelmiszerrel való érintkezésre, ami korlátozhatja az alkalmazási lehetőségeket olyan területeken, ahol élelmiszerekkel dolgoznak vagy ahol élelmiszereket tárolnak. [52]

A polikarbonát egy olyan folyamat révén újrahasznosítható, amely különleges feltételeket igényel. Az egyik legelterjedtebb újrahasznosítási módszer a pirolízis, amely során az anyagot magas hőmérsékleten hevítik, hogy alkotóelemeire bomoljon. A keletkező anyagot új termékek előállításához lehet felhasználni, ami hozzájárul a hulladék csökkentéséhez és az erőforrások megőrzéséhez. [28]

Átlátszó fa

Harminc évvel ezelőtt egy németországi botanikusnak egyszerű kívánsága volt: szeretne volna a fás növények belső működését boncolás nélkül megvizsgálni. Siegfried Finknek a növényi sejtek pigmentjeinek kifehérítésével sikerült átlátszó fát létrehoznia, és technikáját egy hiánypótló fotechnológiai folyóiratban publikálta. Az 1992-es cikk több mint egy évtizedig az



Kép 5 Átlátszó fa

átlátszó fával kapcsolatos utolsó publikáció maradt, amíg egy Lars Berglund nevű kutató bele nem botlott. [11]

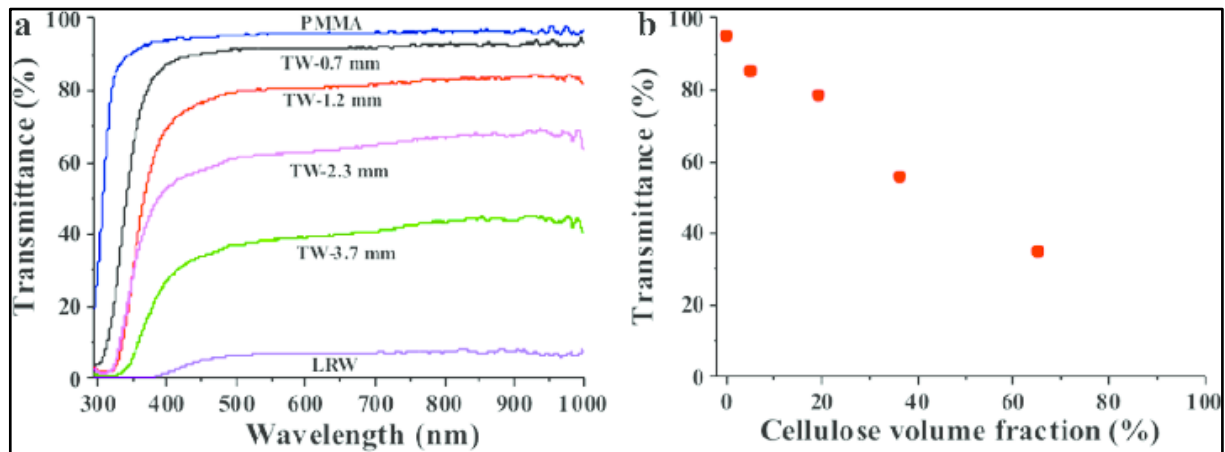
A közelmúltban, 2015-ben és 2016-ban a Svéd Királyi Technológiai Intézet és a Svéd Egyetem csapataival közösen fedezték fel újra Siegfried munkáját. [12]

A tudósok jellemzően vékony mintákkal dolgoztak: legkisebb vastagságuk egy milliméter alatti, legnagyobb pedig körülbelül egy centiméter. Figyelemre méltó azonban, hogy a sejtek masszív méhsejtes szerkezetet hoznak létre, és az apró faszálak erősebbek, mint a legjobb szénszálak. Megfigyelték, hogy az átlátszó fa gyantával való kiegészítése olyan anyagot eredményezett, amely nagyobb szilárdságot mutat, mint a műanyag és az üveg. Az anyagok nyomás alatti repedéssel vagy töréssel szembeni ellenállását mérő tesztek azt mutatják, hogy az átlátszó fa körülbelül háromszor erősebb, mint az átlátszó műanyagok, például a plexiüveg, és körülbelül tízszer tartósabb, mint az üveg. [13]

“The results are amazing, that a piece of wood can be as strong as glass,” - A 2023 Annual Review of Materials Research című folyóiratban Hu így mutatta be az átlátszó fa jellemzőit. [13]

Az eljárás vastagabb faanyagon is alkalmazható, de fontos megjegyezni, hogy a megnövekedett fénytörés miatt az anyagon keresztül a látvány ködösebb lehet. Eredeti, 2016-os tanulmányukban Hu és Berglund felfedezte, hogy a gyantával töltött, mindössze egy milliméter vékony falapok a fény 80-90%-át képesek átengedni. Ahogy azonban a vastagság az egy

centiméter felé nő, az áteresztőképesség csökken. Berglund csoportja arról számolt be, hogy a 3,7 milliméter vastagságú fa csak a fény 40%-át engedte át. [13]



Kép 6 Átlátszó fa átlátszóságának mértéke

A mintákat a következők szempontjából értékelik: nyomószilárdság, szakítószilárdság és hajlítás. Ezeket minden irányban megvizsgálják, hogy meghatározzák az ortotróp tulajdonságaikat. A vizsgálatokat az EN408:2010 szabvány szerint végzik el a modulus meghatározására. Ez az európai szabvány vizsgálati módszereket határoz meg a szerkezeti faanyagok és a ragasztott rétegelt faanyagok következő tulajdonságainak meghatározására: hajlító rugalmassági modulus; nyírási modulus; hajlítószilárdság; a szemcsékkel párhuzamos húzórugalmassági modulus; a szemcsékkel párhuzamos húzószilárdság; a szemcsékkel párhuzamos nyomórugalmassági modulus; a szemcsékkel párhuzamos nyomószilárdság; a szemcsékre merőleges húzórugalmassági modulus; a szemcsékre merőleges húzószilárdság; a szemcsékre merőleges nyomórugalmassági modulus; a szemcsékre merőleges nyomószilárdság és nyírási szilárdság. [14]

Ezenkívül a próbadarabok méreteinek, nedvességtartalmának és sűrűségének meghatározása is meg van határozva. [15]

A módszereket - eltérő rendelkezés hiányában - a tömör, nem illesztett, illesztett vagy sormintás faanyagból és ragasztott rétegelt faanyagból készült (lényegében állandó keresztmetszetű) téglalap és kör alakú próbatestekre kell alkalmazni. [15]

Az általában balzafából kivágott faanyagot különböző tulajdonságok szempontjából értékelik, beleértve a szemcsézettséget, a nyomó rugalmassági modulus és a nyomószilárdságot. [15]

És hogy mi a jövő? Többéves kísérletezés után a kutatások kezdenek eredményeket hozni. Az átlátszó fa számos alkalmazásban lehet felhasználható, beleértve a szupererős okostelefon-

képernyőket, a lágy és világító lámpatesteket, sőt, olyan szerkezeti elemeket is, mint a színváltó ablakok. [11]

Fényáteresztő beton

A Houstoni Egyetem professzora, Bill Price az 1980-as évek óta végez kísérleteket a beton fényáteresztő képességének növelésére azért, hogy üvegszálakat épít be a még meg nem szilárdult betonba.

Ezt a technikát később a magyar Losonczy Áron fejlesztette tovább, aki 2004-ben, huszonnégy évesen szerzett elismerést találmányával. Bár az üvegbeton nem volt új koncepció, Losonczy újítása több ezer optikai szál felhasználásával járt, amelyek összefonódtak a befogadó anyaggal,



Kép 7 Fényáteresztő beton

és így egy különleges terméket eredményeztek. A LiTraCon egy olyan termék, amely lehetővé teszi, hogy a beton átlátszóvá váljon azért, hogy a fényt pontról pontra, hihetetlenül vékony, sűrűn elhelyezett szálakon keresztül továbbítja. Ennek eredményeképpen teljesen látható árnyékok és a fény színe is láthatóvá válik. A termék neve az angol

elnevezésből származik - Light Transmitting Concrete. [16]

A tanulmány a TSCC (Translucent self-compacting concrete) nyomószilárdságát, természetes fényáteresztő képességét és mesterséges fényáteresztő képességét vizsgálja, különös tekintettel a változó műanyag optikai szálak térfogatarányok és átmérők hatására. A tanulmány mind a természetes, mind a mesterséges fényáteresztő képesség teljesítményét vizsgálta. A természetes fényáteresztést reggel 7 és este 7 óra között mérték. A mesterséges fényáteresztést különböző körülmények között, például a feszültség és a fényforrás változása mellett elemezték. A

pontosság biztosítása érdekében egyetlen LDR (light-dependent resistors) helyett fényfüggő ellenállások csoportját használták, és változtatták a fényforrás és a minta közötti távolságot. A tanulmány összehasonlította a TSCC-t az áttetsző öntömörödő habarccsal (TSCM - translucent self-compacting mortar), és megállapította, hogy a TSCC a TSCM-hez hasonló mesterséges fényáteresztő képességgel rendelkezik. A kísérleti eredmények azt mutatták, hogy a POF (plastic optical fibers) térfogatarányok és átmérők növelése a nyomószilárdság növekedéséhez vezetett, de a fényáteresztő képesség közvetlen négyzetes növekedését is eredményezte. Ebben a kutatásban a TSCC a kocka felületének közelében akár 21,35%-os természetes és 24,7%-os mesterséges fényáteresztő képességet ért el. Ez a megvilágítási szint kereskedelmi és lakóépületek számára egyaránt megfelelőnek tekinthető.

Az áttetsző öntömörödő beton (TSCC) egy innovatív energiatakarékos építőanyag. A TSCC-t SCC-vel és műanyag optikai szálakkal (POF) készítették, hogy lehetővé tegyék a befelé irányuló természetes fényáteresztést. Az SCC (self-compacting concrete) első koncepcióját 1986-ban vezette be prof. Okamura, majd folytatta a kutatást az SCC fejlesztésére, amelyek közül főként a friss tulajdonságokat veszi figyelembe, nem pedig a szilárdsági követelményeket.[37]

Az áttetsző betontömbök széleskörűen alkalmazhatók, többek között padlóburkolatok, járdák, lépcsők és asztalok készítésében. Általánosan használják őket válaszfalakban, ajtóknál és panelekben is, amelyek nappal megvilágítva a területet, hozzájárulnak a belső tér esztétikai vonzerejéhez. Ezenkívül sötét helyek vagy ablaktalan területek, például pincék megvilágítására is használhatók. Az áttetsző beton szintén népszerű választás járdák és fekvőrendőrk építéséhez, amelyek éjszaka világítanak, így növelve a gyalogosok és az út menti forgalom biztonságát. [18] Alkalmazását azonban korlátozza hőtechnikai tulajdonsága, hiszen homlokzatként felhasználva a hőszigetelés beiktatásával blokkolnánk a fény bejutását.

Átlátszó alumínium

Az alumínium-oxid-nitrid egy átlátszó kristályos anyag, amely alumínium-porötvözetekből készül. Fő nyersanyagai az oxigén, nitrogén és az alumínium. [29,30]

Ezt az ALON néven is ismert anyagot tesztelték és bizonyították, hogy rendkívül tartós, ezért népszerű választás katonai projektekhez, például páncélozott járművek ablakaihoz és optikai

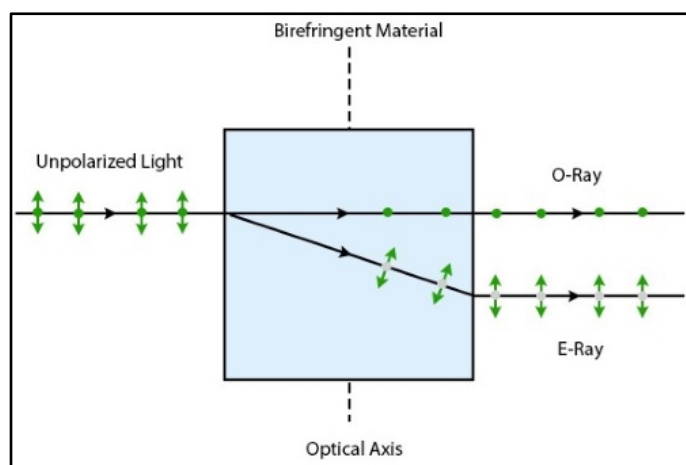
lencsékhez. Ezenkívül szilárdsága és átláthatósága ígéretes anyaggá teszi magas, üvegfalú felhőkarcolók építéséhez, amelyek kevesebb belső alátámasztást igényelnek. Lehetséges, hogy a közeljövőben növekszik ennek az anyagnak a használata. [30]

Ezt a vegyületet por formájában szintetizálták az 1950-es években. A 80-as évek végén és a 90-es évek elején olyan technológiát fejlesztettek ki, amely összetett formájú, átlátszó termékek előállítására szolgál. [31]

Az átlátszó alumínium 1200 Celsius fokig szilárd marad és rendkívül rugalmas, ami nagy hőmérsékletű környezetekben is előnyös. Egy azonos vastagságú acélhoz képest háromszor keményebb, így kiválóan alkalmazható azokon a területeken, ahol nagyobb szilárdságra van szükség. Az átlátszó alumínium ellenáll az úgynevezett delaminációnak, vagyis a réteges leválásnak, mivel a rétegek közötti feszültség kisebb, ami hosszabb élettartamot eredményez. Karcálló és hosszú élettartamú, így ideális választás olyan környezetekben, ahol az anyagot rendszeresen igénybe veszik. Az átlátszó alumínium kristálytiszta szerkezete kiváló törésmutatót biztosít nagy területeken, ami számos alkalmazásban előnyt jelent. [31]

Számos kutatási munka javasolt módszereket az átlátszó alumínium áteresztőképességének javítására az átlagos szemcseméret $1\ \mu\text{m}$ alatti értékre történő szabályozásával bizonyos hullámhosszakon. Jelenleg azonban kihívást jelent a szemcseméretnek a látható fény hullámhosszánál jóval kisebb méretre való csökkentése a meglévő technikákkal. [67]

Ennek eredményeként az anyag áteresztőképessége jelentősen csökken, ahogy a hullámhossz a látható fény tartományában csökken. Ezért az átlátszó alumíniumban a kettőtörés kérdése még megoldásra vár. Érdeemes megjegyezni továbbá, hogy az átlátszó alumínium előállítási költsége más fejlesztésekhez, pl. az átlátszó kerámiákhoz képest jelentősen magasabb. [67]



Kép 8 Kettőtörés

Átlátszó kerámia

Az átlátszó kerámia fejlesztése és kutatása már évtizedek óta folyik. Az első átlátszó kerámiák kifejlesztése az 1960-as években kezdődött, és azóta folyamatosan fejlesztik és finomítják őket. Azonban 1966-ban jelent meg az első fényáteresztő kerámia alapú kereskedelmi termék, nevezetesen egy nátriumgőz alapú utcai lámpaelem. [32]

Az infravörös ablakanyagokat széles körben használják különböző területeken, például a hadászatban, a repülésben és az iparban. Alapvető alkotóelemként szolgálnak az átlátszó páncélok, rakétafedelek, magas hőmérsékletnek kitett megfigyelőablakok és repülési ablakok esetében. [66]

A polikristályos kerámiák általában átlátszatlan anyagból állnak, amely elnyeli vagy szórja a látható fényt. A szigorúan ellenőrzött eljárások révén azonban a kerámia az üveghez vagy az egykristály zafírhoz hasonló átlátszóságot érhet el. Az átlátszó kerámiák látható fénytől a középső infravörös spektrumig terjedő áteresztőképességét a YAG (ittrium-alumínium gránát) esetében körülbelül 84%, az Y₂O₃ (ittrium-oxid) esetében pedig 81%-ban mérték. Ezek az arányok megegyeznek az anyagok törésmutatója alapján kiszámított átlátszósági arányokkal. [33]

Az átlátszó kerámia sűrűsége általában 3,86 és 9,50 g/cm³ között változik [72], ami azt jelzi, hogy különböző összetételű és struktúrájú anyagokat is magában foglalhat.

A húzószilárdsága általában 550 N/mm² [71], ami azt mutatja, hogy milyen mértékben ellenáll a húzóerőnek vagy terhelésnek a kerámia anyag.

Az átlátszó kerámia kiemelkedő tulajdonságai közé tartozik az 2135°C-os olvadáspontja [71], ami azt jelzi, hogy rendkívül magas hőmérsékletre van szükség a megolvadásához. Emellett rugalmassági modulusa általában 280 000 N/mm² [73], ami azt mutatja, hogy mennyire képes deformálódni vagy rugalmasan visszaállni terhelés hatására. Továbbá nyomószilárdsága legalább 2000 N/mm² [73], ami azt jelzi, hogy mennyire ellenálló a nyomásnak vagy összenyomásnak a kerámia anyag.

Az átlátszó kerámiák egyedülálló tulajdonságaiknak köszönhetően számos iparágban sokféle alkalmazást találtak. Egyre gyakrabban használják az optikában és a lézerrendszerekben, mivel

nagy optikai tisztaságuk és hőstabilitásuk miatt ideálisak lézerezősítő közegek, optikai ablakok és lencsék gyártására. [34]

Az átlátszó kerámia rendkívül magas karcállósággal rendelkezik, amely minden természetes anyagot felülmúl, kivéve a gyémántot és a rubint. Ezáltal hosszabb tartósságot biztosít, akár 20-80-szorosával többet, mint az üveg esetében. [35]

Emellett kiváló hővezető képességgel bír, ami lényegesen magasabb, mint az üvegé. Ezáltal ideális választás olyan környezetekben, ahol a hővezetés fontos szempont, és a hosszú távú tartósság elengedhetetlen. [35]

Összegzés

Az átlátszó anyagok egyedülálló tulajdonságokkal rendelkeznek, amelyek alkalmassá teszik őket számos ipari és építészeti alkalmazáshoz. Míg az üveg a leggyakrabban használt anyag, az olyan műanyagok, mint a plexiüveg és a polikarbonát könnyebb és ütésállóbb alternatívát jelenthetnek. A környezetbarát megoldások közé tartozik az átlátszó fa és az áttetsző beton, míg az innovatív megoldások közé tartozik az átlátszó alumínium és az átlátszó kerámia, amelyek egyedi tulajdonságokkal rendelkeznek.

Bár az átlátszó anyagoknak számos előnyös tulajdonsága van, mint az innováció, a fenntarthatóság és az esztétikai megjelenés, fontos megérteni, hogy a jövő mindig bizonytalanságot hordoz magában. Az anyagok fejlődése és alkalmazása folyamatosan változik az új technológiák és felfedezések hatására. Ezért fontos, hogy nyitottak maradjunk az új lehetőségekre és fejlesztésekre, és készek legyünk alkalmazkodni az iparág dinamikus változásaihoz. Így lehetünk képesek kihasználni az átlátszó anyagokban rejlő potenciált, és maximálisan kiaknázni azok előnyeit a jövőbeni kihívások megoldására.

Jelen dolgozat összefoglalja a közelmúlt fejlesztéseit, azok eredményeit és a különböző kísérletekben és publikációk adatai alapján arra tesz kísérletet, hogy összehasonlítható formában összegezze a jelenlegi ismereteinket, ami az átlátszó anyagok fejlesztését, anyagtulajdonságait illeti. Ez az összegzés látható az 1. számú táblázatban, amelynek célja, hogy tervezéskor vagy további fejlesztésekkor segítséget nyújtson a tervezők, döntéshozók számára. A hivatkozott szakirodalmi adatok alapján lehetőség nyílt bizonyos alkalmazási, technológiai összevetésekre, amelyek további kutatások alapját képezhetik.

Forrásjegyzék

Kép 1 <https://www.youtube.com/watch?v=Hy-XtuTImN4> (Letöltés ideje: 2024.04.15. 08:05)

Kép 2 <https://www.mtfx.com/shop/product/rubber-glass/> (Letöltés ideje: 2024.04.14. 20:40)

Kép 3 https://uveges.co.hu/?page_id=278 (Letöltés ideje: 2024.04.14. 20:40)

Kép 4 http://www.uvegcsizolas.hu/termek.363.anyagukban_szinezett_uvegek (Letöltés ideje: 2024.04.14. 20:40)

Kép 5 <https://www.dailytelegraph.com.au/news/nsw/grafon/talking-timber-transparent-wood-could-replace-glass/news-story/2a1caadc12d31fb50d2f0c542522a291> (Letöltés ideje: 2024.04.12. 06:32)

Kép 6 https://www.researchgate.net/figure/Optical-transmittance-of-transparent-wood-a-Transmittance-of-transparent-wood-samples_fig4_297608059 (Letöltés ideje: 2024.04.15. 17:42)

Kép 7 <https://trends.archiexpo.com/project-25565.html> (Letöltés ideje: 2024.04.12. 16:37)

Kép 8 <https://www.gophotonics.com/community/what-is-birefringence> (Letöltés ideje: 2024.04.14. 16:01)

1 Reith András - Üveg az építészetben 44. oldal

2 Reith András - Üveg az építészetben 44. oldal

3 <https://mid-mountain.com/what-is-silicone-glass-fabric-and-where-is-it-used/>

4 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S223878542201434X>

5 <https://atriainnovation.com/en/blog/transparent-metals/>

6 <https://omnexus.specialchem.com/polymer-property/transparency>

7 <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/115699/a5804434ef5d4f7bac222f68ef9883b3/A>

8

https://www.maine.gov/doe/sites/maine.gov.doe/files/bulk/prek4me/unit5pdfs/Week%203/16_%20LFOAI%20Opaque_Transparent_Translucent.pdf

9 <https://busada.com/2021/02/15/measuring-transparency-lensing-and-optical-clarity/>

10 <https://www.ktb.gov.tr/EN-120370/the-history-of-ancient-glass.html>

11 <https://www.scientificamerican.com/article/see-through-wood-is-stronger-than-plastic-and-tougher-than-glass/>

- 12 <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/566/1/012015/pdf>
- 13 <https://knowablemagazine.org/content/article/technology/2023/why-scientists-are-making-transparent-wood>
- 14 <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/6ffae6c9-5eaf-4c84-8bf3-5132cbfc563c/en-408-2010a1-2012>
- 15 <https://intapi.sciendo.com/pdf/10.1515/sspjce-2020-0015>
- 16 <https://karpatalja.ma/sorozatok/magyar-feltalalok/magyar-feltalalok-losonczi-aron-es-az-uvegbeton-tortenete/>
- 17 <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352710221000346>
- 18 <https://www.specifyconcrete.org/blog/a-brief-history-and-future-use-of-translucent-concrete>
- 19 <https://www.amaforum.com/material-and-details/silicone-glass>
- 20 https://uveges.co.hu/?page_id=278
- 21 Reith András - Üveg az építészetben 45. oldal
- 22 Reith András - Üveg az építészetben 46. oldal
- 23 <https://www.archdaily.com/943049/what-is-plexiglass-the-protective-plastic-many-are-using-to-combat-viral-spread>
- 24 <https://www.acplasticsinc.com/informationcenter/r/using-plexiglass-sheeting-for-windows>
- 25 <https://www.twpolycarbonate.com/what-is-polycarbonate/>
- 26 <https://www.bpf.co.uk/plastipedia/polymers/Polycarbonate.aspx>
- 27 <https://www.defenselite.com/blog/what-is-polycarbonate-made-of/>
- 28 <https://www.recycledplastic.com/polycarbonate/>
- 29 <https://theconstructor.org/building/building-material/transparent-aluminium/561733/>
- 30 <https://civil-eng.binus.ac.id/2023/03/30/transparant-aluminium/>
- 31 <https://tr.linkedin.com/pulse/what-transparent-aluminium-pandaaluminium>
- 32 https://ceramics.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/jace.14553?casa_token=RHJ-peIaAzkAAAAA:FEum2f0DyR2abphkOan4j0XYGGnx128ajPcWLOJqwn7oPbc8f8sp1QuzkADAc9BIAZFqght0tlpfoxE

- 33 https://www.coorstek.co.jp/eng/rd/detail_04.html
- 34 <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=23235>
- 35 <https://www.advaluetech.com/transparentceramics>
- 36 https://patentscope.wipo.int/search/en/result.jsf?_vid=P20-LUL7HX-28746
- 37 <http://www.5mp.eu/web.php?a=bulatkoistvan&o=AOJwIyII6X>
- 38 Polymethyl methacrylate (PMMA) - Britannicabritannica.com <https://www.britannica.com/science/polymethyl-meth...>
- 39 <http://vs90kft.hu/polikarbonatrol/>
- 40 Reith András - Üveg az építészetben 60.-61. oldal
- 41 Reith András - Üveg az építészetben 100.-101. oldal
- 42 <https://www.javatpoint.com/advantages-and-disadvantages-of-glass>
- 43 <https://www.acmeplastics.com/what-is-acrylic-plexiglass>
- 44 <https://www.curbellplastics.com/materials/plastics/acrylic/>
- 45 <https://www.xometry.com/resources/materials/acrylic-pmma/>
- 46 <https://brainresearchlab.com/wp-content/uploads/Plexiglass-Chemical-Resistance-Properties.pdf>
- 47 <https://www.ddpsinc.com/en/knowledge/what-are-different-types-of-chemical-attack-that-can-occur-in-glass-lined-equipment>
- 48 <https://butlersigns.uk/our-company/blog/how-long-will-acrylic-last/>
- 49 <https://theroundup.org/how-to-recycle-acrylic/>
- 50 <https://omnexus.specialchem.com/selection-guide/polycarbonate-pc-plastic>
- 51 <https://www.matweb.com/search/DataSheet.aspx?MatGUID=501acbb63cbc4f748faa7490884cdbca&ck=1>
- 52 <https://www.protolabs.com/materials/polycarbonate/>
- 53 <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/adom.201800059> (Optically Transparent Wood: Recent Progress, Opportunities, and Challenges)

- 54 <https://www.azobuild.com/article.aspx?ArticleID=8577>
- 55 <https://www.2-10.com/blog/transparent-wood-building-material-future/>
- 56 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359835X20300919>
- 57 <https://resource.co/article/transparent-wood-offers-sustainable-alternative-plastic-study-shows>
- 58 <https://www.hindawi.com/journals/ace/2019/4604132/#materials-and-methods>
- 59 <https://www.linkedin.com/pulse/translucent-concrete-nazeer-bhatkar>
- 60 <https://www.ijraset.com/research-paper/transparent-concrete-litracon>
- 61 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214509522003928>
- 62
https://www.researchgate.net/publication/375187711_A_Review_of_the_Structural_Properties_of_Translucent_Concrete_as_Sustainable_Material
- 63 <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061821023990>
- 64 <https://www.americanelements.com/transparent-ceramics>
- 65 https://hal.science/hal-02391441/file/116-Review%20Transparent%20Ceramics_Xiao_Materials%20Science%20&%20Engineering%20R_2020_HAL.pdf
- 66 <https://www.preciseceramic.com/blog/what-does-it-take-to-make-opaque-ceramics-transparent.html>
- 67 <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=8095>
- 68 https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Transparent_aluminium
- 69 <https://www.theengineer.co.uk/content/news/warwick-team-turn-polythene-into-transparent-aluminium/>
- 70 <https://link.springer.com/article/10.1007/s11340-012-9645-x>
- 71 <https://www.preciseceramic.com/blog/what-is-the-transparent-ceramic-material.html>
- 72 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S223878542201434X#sec2>

73 <https://www.advaluetech.com/transparentceramics>

74 <https://www.defenselite.com/blog/what-is-polycarbonate-made-of/>

75 <https://bioresources.cnr.ncsu.edu/resources/mechanical-characterization-of-clear-wood-from-portuguese-poplar/>

76 <https://www.americanelements.com/aluminum-oxynitride-12633-97-5>

1. számú táblázat

	ÜVEG	PLEXI	POLI-KARBONÁT	ÁTLÁTSZÓ FA	FÉNYÁTERESZTŐ BETON	ÁTLÁTSZÓ ALUMÍNIUM	ÁTLÁTSZÓ KERÁMIA
Szabadalmaztatás dátuma [36]	1825	1901	1997 körül	1992	2007 körül	2004	1969
Összetevők	Kvarchomok Szilícium-dioxid Nátrium-karbonát Kálium-karbonát Földpát Mészke Dolomit [37]	Szintetikus gyanta [38] Metil-metakrilát monomerek [49]	Bisfenol-A [BPA] és a karbonil-klorid vagy difenil-karbonát kombinálásával	Ált. kisebb sűrűségű balsafa Oxidáló fürdő [Ált.] polivinil-alkohol vagy PVA [54]	Cement Mészke Adalékanyag Víz Műanyag optikai szálak [58]	Nitrogén Oxigén Alumínium [67]	Indium-ón-oxid Indium-cink-oxid Indium-gallium-cink-oxid Alumíniummal adalékolt cink-oxid [64]
Előnyök	Vízálló [29.oldal] "Sima" a felülete, így könnyen tisztítható Kiváló elektromos szigetelő [42]	Időjárás,- és UV álló Nem szilánkosan törik, nem balesetveszélyes Könnyű súly Kiváló vegyszerállóság Tartósság [43]	Hajlítható Kis lemezszúly "Törhetetlen" [39] Nagyfokú méretstabilitás [50]	Nagyobb a képlékenysége [mint az üvegnek] Nem törik "kedvezőtlenül" [53] Ugyanolyan erős, mint a normál fa, de kisebb a súlya [54]	Kézzel is elkészíthető-csökkennek a költségek [59] Energiamegtakarítás [62] Alacsony hővezetési képesség [62]	1200 Celsius fokig szilárd marad és rendkívül rugalmas Karcálló és hosszú élettartamú [67]	Alacsony költség Alakíthatóság Nagy mechanikai szilárdság [a hagy. kerámiával szemben] [65]
Hátrányok	Rideg anyag Nagyon érzékeny felületi sérülésekre, karcra Gyártása drága és sok időt vesz igénybe [42]	Kopásállóság Gyenge ütésállóság, könnyebb tönkremenetel Korlátozott hőállóság [45]	Vegy érzékenység Drágább lehet, mint más műanyagok Nem alkalmas élelmiszerrel való érintkezésre [52]	Az üveg környezetbarátabb, mint az átl. fa [54] Még nem dolgoztak ki módszert a nagyméretű gyártásra [55]	Nagyon költséges az optikai szálak miatt [60]	Kettőtörés problémája Nagyon magas előállítási költség [67]	Nehézkes előállítás [66]
Sűrűség	2,5 g/cm ³ [42]	1.17-1.20 g/cm ³ [45]	1,20 g/cm ³ [39]	0,16-1,2 g/cm ³ [53,56]	2,339-2,415 g/cm ³ [61]	3.696-3.691 g/cm ³ [76]	3,86-9,50 g/cm ³ [72]
Húzószilárdság	6500-8000 N/mm ² [40]	68.94 N/mm ² [44]	95-120 N/mm ² [51]	3600 N/mm ² [53]	3,70-13,50 N/mm ² [61]	500 N/mm ² [69]	550 N/mm ² [70]
Olvaspont	1100 °C [folyási hőm.] [40]	160 °C [45]	300 °C [39]	n.a.	n.a.	2150 °C [68]	2135 °C [71]
Rugalmasági mod.	70 000-75 000 N/mm ² [40]	2758 N/mm ² [44]	2310 N/mm ² [51]	1220-2370 N/mm ² [53]	49 710 N/mm ² [61]	320 000 N/mm ² [68]	280 000 N/mm ² [73]
Nyomószilárdság	700-900 N/mm ² [40]	117,21 N/mm ² [44]	17,99 - 86,18 N/mm ² [51]	32,7 N/mm ² [75]	12,8-135,30N/mm ² [28 napos korban] [60,61]	2680 N/mm ² [67]	≥ 2000 N/mm ² [73]
Újrahasznosíthatóság	Újra megolvasható A nem hasznosítható üveghulladék inert lerakókban helyezhetők el [41]	Nehezen újrahasznosítható Az akril apró pelletre bontják, amelyekből aztán új termékeket lehet készíteni [49]	Kémiai újrahasznosítás: a selejtezett PC-t fenollal reagáltatják, hogy újra monomerekké alakítsák, amelyeket megtisztítanak a további polimerizációhoz [50]	További kutatások szükségesek [57]	Fenntartható [63]	n.a.	n.a.