



MISKOLCI EGYETEM
MŰSZAKI ANYAGTUDOMÁNYI KAR
TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI DOLGOZAT
3515 MISKOLC Egyetemváros



Síküveg élfeszültség-, és hosszirányú elhajlásának mérése

Készítette:

Szemán Ágnes

Konzulens:

Erdélyi János

egyetemi tanársegéd

Paróczai Csilla

melegvégi technológus

Kerámia és Szilikátmérnöki Tanszék

2012

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés.....	3
2. A Guardian Orosháza Kft. floatüveg gyártástechnológiája.....	4
2.1. Guardian Orosháza Kft. rövid bemutatása.....	4
2.2. A technológiai folyamat leírása	5
2.2.1. A keverék előállítása.....	6
2.2.2. A regeneratív kemence	8
2.2.3. Az ónfürdő	9
2.2.4. A hűtőszalag.....	9
2.2.5. Vágás, minőségellenőrzés	10
2.2.6. Leszedés	10
2.2.7. Raktár.....	10
3. Az üveg	11
3.1. Az alapanyagok és adalékanyagok szerepe	11
3.2. Feszültség az üvegben	12
3.4. Az üvegtulajdonságok és a feszültség kapcsolata	13
4. Az üvegminták feszültségvizsgálatai	16
4.1. Az üveg hosszirányú feszültsége	16
4.3. Az üveg élfeszültsége.....	20
4.4. Az élfeszültség és a hosszirányú behajlás mérések közötti kapcsolat keresése	25
5. Összefoglalás.....	28
Irodalomjegyzék	29
Köszönetnyilvánítás.....	30

1. Bevezetés

A nyári szakmai gyakorlatomat a Guardian Orosháza Kft-nél töltöttem, melynek időtartama négy hét volt. Ez idő alatt megismerkedtem a floatüveg gyártástechnológiájával és az ezt felépítő részfolyamatokkal.

A jó minőségű üveg előállításához sok szakember tudása és az évek során szerzett tapasztalatuk szükséges, mivel a gyártás folyamatos (kemence 16 évre van tervezve) és mindig adódnak új, megoldásra váró problémák.

A dolgozatomban bemutatom a gyárat, a floatüveg-gyártás folyamatát, majd rátérek saját feladatomra, mely az üvegben ébredő élfeszültség és hosszirányú behajlás méréseinek kiértékeléséről és a két érték közötti összefüggés kereséséről szól.

2. A Guardian Orosháza Kft. floatüveg gyártástechnológiája

2.1. Guardian Orosháza Kft. rövid bemutatása

A Guardian Orosháza Kft. a Guardian Industries vállalata. A magyarországi Guardian üzem 18 hónap alatt épült fel, így indult meg a gyártás 1991.február 3.-án. Az Orosházán előállított síküveg, mészhalkáli szilikát üveg, minősége versenyképes volt már a kezdetektől. Az üzemindítást követően termelését a piaci igényeknek megfelelően mindig növelte, így jelenleg a floatüveg termelése napi 570t. A Guardian világméretű cég, s az orosházi gyára negyedikként épült meg Európában. A Guardian Industries csaknem minden kontinensen képviselteti magát. Alaptevékenysége a síküveggyártás, de folyamatosan terjeszkedik az alapanyaggyártó piacokon is, így a gépgyártás, az üvegfeldolgozás (járműüveg, bevonatos üvegek, biztonsági üveg, tükör) és az üveggypot előállítására is kiterjed tevékenységi köre. Az áruválaszték széles, mivel egy-egy üzem nemcsak a saját maga által gyártott termékeit értékesíti, hanem a társgyárak termékeit is kínálja. Az Guardian Orosháza Kft., mint alapüveg-szállító, fő célpiacai: hőszigetelő üveg, belsőépítészeti üveg, autó és gépjármű üveg, bútor üveg, képkeret üveg és egyéb üvegszegmensek.[1][2][3]

A Guardian termelési és piaci sikereinek titka a személyzet, akikért a vállalat megtesz mindent, hogy a lehető legjobban érezzék magukat a társaságnál. A vállalat jelenléte felgyorsította és megalapozta a helyi vállalkozások fejlődését, s segíti a térségben az infrastruktúra kiszélesítését.[3]

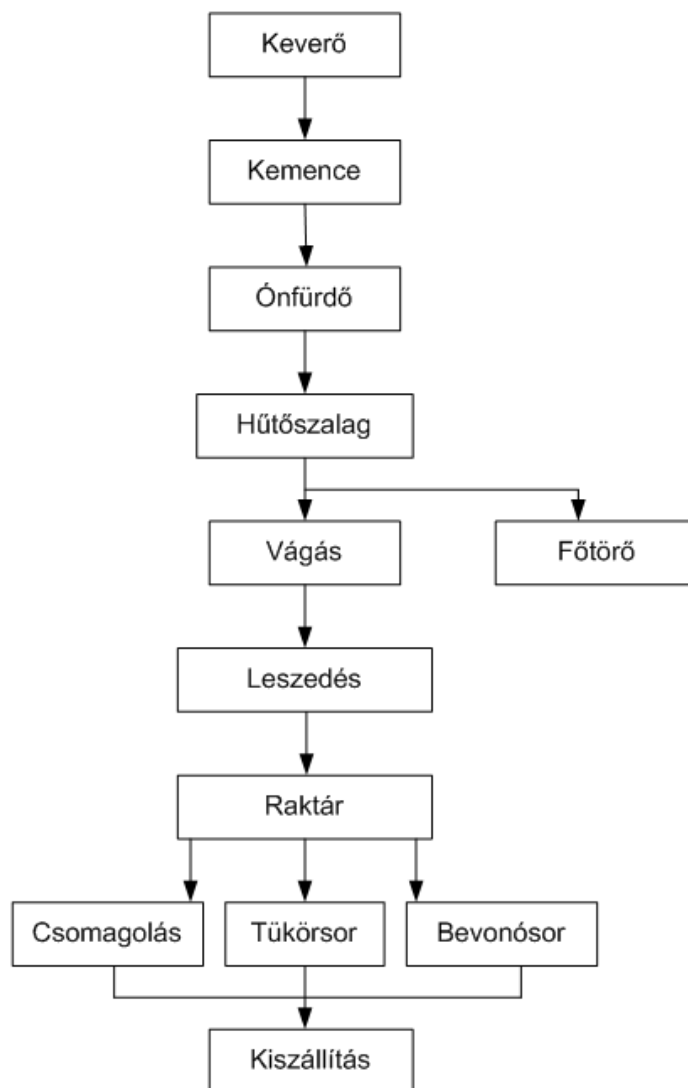


1. ábra. Az Orosháza Guardian Kft. főbejárata

Átvéve: <http://pilok.hunhonlap.hu/bolem/ruler/index.php?action=gallery&gal=GUARDIAN+OROSH%C3%81ZA&getpageazon=1795>

2.2. A technológiai folyamat leírása

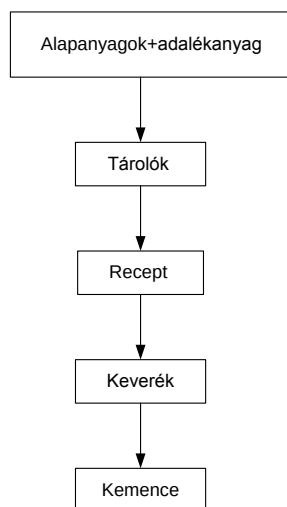
A float üveg kifejezés magyarul "felületen úszó"-t jelent, ez jól jellemzi a gyártási folyamatot. Ez a gyártási technológia az 1950-es évek végén jelent meg a Pilkington testvéreknek köszönhetően. Újításuk abból állt, hogy az 1000-1100 °C-os olvadékot egy forró folyékony ónfürdőre vezették, ahol ez szétterült.[4] Az egyszerűbb áttekinthetőség miatt készítettem egy folyamatábrát (2. ábra.). Ezekről a következő alpontokban fogok bővebben írni.



2. ábra. A float üveg technológia folyamatábrája

2.2.1. A keverék előállítása

A keverék előállításának menetét az alábbi ábra szemlélteti:



3. ábra. A keverék előállításának egyszerűsített folyamatábrája

A használt alapanyagok: a kvarchomok, a dolomit és a szóda. Az adalékanyagok: a mészkő, a nátronlúg, a nátrium szulfát, az EP por, a petrolkoks, az üvegcserep és víz.

A kvarchomok szállítása télen, közúton kamionnal történik, mert különben belefagyna a vagonba, nyári időszakban, vagonban történik. A keverék viszonylag nagy hányadát (12-13%) kitevő dolomit száraz por formájában, tartálykocsiban két beszállítótól érkezik a gyárba, ahol felhasználás előtt homogén keveréket készítenek belőlük. A szóda, a mészkő és a nátronlúg szintén tartálykocsival szállítódnak. A nátronlúg nagyobb odafigyelést igényel, mert a hőmérsékletét 20°C és 50°C között kell tartani mind szállítás, mind raktározás során. Ennek oka az, hogy a nátronlúg 20°C alatt kocsonyásodik, 50°C felett nagyon agresszív. A szulfát vasúti tartálykocsiban érkezik. A felhasznált üvegcserep egy része a gyártás során keletkező technológiai veszteség, ezt hívják „saját cserep”-nek. Azonban, ez nem lenne elegendő ahhoz, hogy a keverékben a cserep aránya az ideális 18-20% körül legyen, ezért feldolgozóktól begyűjtött és visszavásárolt cserepet is vesznek, amit „vásárolt cserep”-nek hívnak. A füstgázból az elektrofilter által leválasztott, magas szulfáttartalmú por az EP-por, ami kedvező kémiai összetétele miatt, szintén a keverék részét képezi, és így a környezetet sem terheli. A koks, zsákos kiszerelésben kamionnal kerül beszállításra.

Az anyagok lefejtését mindig megelőzi egy mintavétel, hogy ellenőrizték megfelelnek-e a kívánt követelményeknek. Ha az eredmények megfelelnek a gyár belső szabványának, mely mindig szigorúbb, mint a külső szabványok, akkor kezdik meg az

átvételt. A kvarchomokot daruval szedik át a tárolókba, a koksz big-bag zsákban érkezik, a többi anyag lefejtése pneumatikusan történik.

A kvarchomok tárolására 7db siló szolgál, az adagolás 2db silóból történik, melyek alján vibrációs anyagmozgató segítségével lehet a homokot – egyenletes vastagságban – a vibrók alatt található szalagokra juttatni. A homoksilók összes kapacitása 12.000 tonna, ami több, mint egy hónapra szükséges mennyiség. A silók alján összegyűlt nedvességet egy vízgyűjtő-szivárgó csatornarendszer segítségével összegyűjtik, melyet utána kiszivattyúznak. A dolomit és mészkő tárolására szolgáló silók fedettek, ezekbe a betöltés 2-3 helyen történik, hogy ne vegyen fel kúp formát az anyag.

A keverőház hat szintes, mely a gépkezelő szobából, a napi tárolókból és a készlet tárolókból áll. A nyersanyagok eljuttatása a napi tárolókba szalagokon ill. elevátorokkal történik. A napitárolók alján vibromotor, valamint tehermentesítő kúp található, hogy az anyag szalagra zúdulását, ill. a felboltozódást elkerüljék. Néhány szalag fölött fémdetektor van elhelyezve, ezzel a mágnesezhető és nem mágnesezhető fémhulladékok is viszonylag jó hatásokkal eltávolíthatók. A kvarchomoknál kétsoros szita is található, amely a nemfémes hulladékok eltávolítására szolgál. Az egyes anyagok az elevátoron keresztül a napi tárolókba kerülnek. A mérleg segítségével kerülnek bemérésre az anyagok az előírt recept alapján. Az **1. táblázat** egy mintareceptet mutat be.

1. táblázat. Egy recept az üveg előállításához

Alapanyagok									
Homok (száraz)	Dolomit	Mészkő	Szóda	Szulfát	Petrol koksz	Nátronlúg	Víz	Cserép	EP dust
2000kg	500kg	180kg	560kg	26kg	1,7kg	80kg	táblázat szerint	630kg	3,4k g

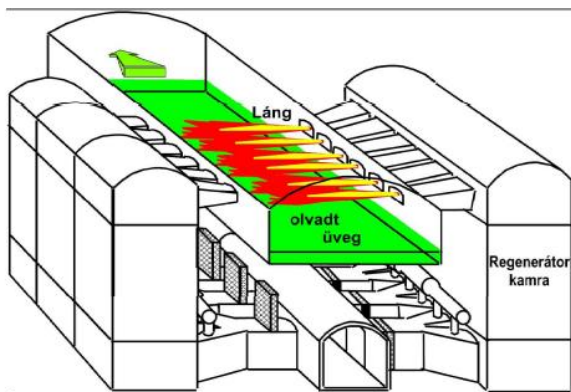
A kimért anyagok mozgatása csiga és vibrotálca segítségével történik. Először a kvarchomok kerül szalagra és a dolomit majd rá a többi anyag, s így kerülnek a keverőgépbe, amiben először száraz keveréssel, majd a lúg és a víz/gőz bemérése után nedves keveréssel homogenizálják az anyagokat és állítják be a megfelelő nedvességet. Az előállított keveréket szalagra engedik, melyre rákerül még a cseréptároló felől érkező szalagról a kimért cserép, s ezután viszi a már kész keveréket a bunkerhoz, ami a kemence adagolónyílása. A bunker fölött sétáló kocsi osztja egyenletesen szét a keveréket.

A keverő technológiai részt számítógépes rendszerrel követik nyomon és bármikor be tudnak avatkozni a folyamatba pl. receptmódosítás.

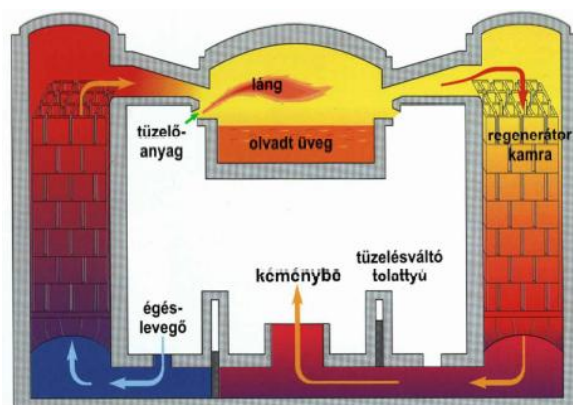
2.2.2. A regeneratív kemence

A kemence adagolónyílása a bunker, ahonnan hat, tolólapos adagoló juttatja a keveréket az adagolótérbe. Az adagolók tisztítása naponta háromszor, minden műszak elején kötelező.

A „regeneratív” kifejezés a hő hasznosítására utal. A földgáz és bután gázokkal működtetett égők az égőszájakban helyezkednek el. A füstgáz hőjét az égéslevegő előmelegítésére használják a tüzelés előtt, ehhez a füstgázt keresztülvezetik a tűzálló anyagot tartalmazó kamrán. A kemence egy oldalán öt égőnyak van nyakanként 2-2 égővel. A kemence tüzelési ciklusát 20 percenként váltják, s az égéslevegőt átvezetik a füstgáz által előzetesen felmelegített kamrán. Az egyik regenerátor kamrát az égési folyamatból származó füstgáz fűti, a másik előmelegíti a bevezetett égéslevegőt. Az előmelegítés hőmérséklete 1300°C-1350°C közötti érték normál esetben. A láng áthalad az olvadt anyag felett, és közvetlenül a szemközti égőszájakba érkezik. [5]



4. ábra. Kereszttüzelésű regeneratív kemence



5. ábra. Regeneratív kemence [5]

Az olvasztótér után a pihentetőtér következik, ahol a kémiai tisztulás zajlik. Az üveg hőmérséklete hűl, szennyeződések és buborékok a felszínre úsznak, melyeknek további haladását waist cooler nehezíti meg a szűkítés előtt. A szűkítésben 12db stirrer (villanymotorral működtetett vízhűtéses kanalak) végzi az üveg homogenizálását, s segíti a hőmérséklet kiegyenlítődését. A tisztuló-, és kidolgozóterben történik a fizikai tisztítás, valamint itt magasabb értéken tartják a tényomást, hogy a kemence ne dolgozzon előre. Itt állítják be az üveg ónfürdőbe belépéséhez szükséges technológiai hőmérsékletét, ami 1100°C

körüli. A kemencét és az ónfürdőt a csatorna köti össze, amiben az ún. „Tweel” található, mellyel az ónfürdőbe folyó üveg mennyiségét lehet szabályozni.

2.2.3. Az ónfürdő

Az ónfürdő függesztett szerkezet, s légmentesen zárt, melyben az atmoszféra enyhén redukáló (N_2 , H_2). Az ónfürdő elején rail cooler-rel (RC) hűtik az atmoszférát, ezáltal az üveg felszínét is. Az Orosházán gyártott üveg kémiai összetétele, hőmérséklete, ill. az ón és az üveg felületi feszültségének kapcsolata miatt kb. 5-6mm vastagságban kerül szét az üvegfolyam az olvadt ón felületén. Az üvegfolyamot a függesztett tűzálló zárókövel (tweel) szabályozzák, majd a széltartó/bornitfogó görgő párok segítségével. A lehr speed, és a szélfogó gépek forgási sebessége, s szalaggal bezárt szöge segít beállítani a kívánt vastagságot. A szélfogó gépekből mindkét oldalt 7-7db van, s a használt gépek száma az üvegvastagságtól függ. A standard üveg 4mm-es, ez alatt vékony üvegről, 4mm fölött vastag üvegről beszélünk. Az elektromos fűtőszálak fentről rögzítettek, vékony üveg gyártásakor több hő kell, 4mm vastag üvegnél nincs szükség rá. Az ónfürdő végénél az üveg hőmérséklete 600°C körüli, ezt a hőmérsékletet azért kell elérnie, mert itt már az üvegnek öntartónak kell lennie (nem deformálódik). A kilépő szalag alját kén-dioxid réteggel vonják be, ezáltal növelik a felületi keménységét. Az ón-, és atmoszféraoldal megkülönböztethető, mivel az ón oldal UV lámpánál opálósabb.[5]

2.2.4. A hűtőszalag

Az ónfürdőt elhagyó üveg vastagságát méri a hot gauge. Az üveg lehűtése során a cél, hogy ne törjön el, ne legyen hullámos, legyen benne valamennyi feszültség, hogy vágható legyen melegen (30-60°C) ill. lapos legyen és vágható hidegen is.

A lehr több zónából áll: A, B1, B2, C, RET1 és RET2. Az A, B1, B2 és C zónák közvetett hűtésűek, a RET1 és RET2 zónák direkt hűtésűek. Az A zónától a C zónáig lehetőség van fűtésre, mert vannak benn fűtőszálak. Az A zónában melegebb hely felől szívják vissza a meleg levegőt, a többinél hidegebb felől juttatják vissza a levegőt, s zártszelvényekben áramoltatják át, ill. RET1 és RET2 esetében sípokkal történik a hűtés.

Az előforduló törés lehet keresztirányú, s lehet hosszirányú törés. A törés a meleg felé halad, így ha hosszában törik, az üvegszalag szélét kell fűteni, hogy „kifusson”.

2.2.5. Vágás, minőségellenőrzés

Miután elhagyta az üvegszalag a lerh-t, hibadetektálás történik. Először az Innomess berendezés alatt megy át, mely folyamatosan detektálja az előforduló üveghibákat. Ha ezzel valamilyen gond történne, akkor a következő megfigyelőrendszerben, a Booth-ban manuálisan is kijelölhető a hibás rész az üvegen. Ebben az esetben természetesen gyengébb minőségű üveg szedhető. Ezen hibaadatok alapján a vágást működtető program a beállított prioritásoknak megfelelően eldönti, milyen méretű üveg vágása a gazdaságos, hogy minél kevesebb selejt legyen. Tehát a kulcsszó: Optimalizációs program. A prioritás beállítható minőség és/vagy méret szerint mindig szem előtt tartva az aktuális megrendelést, s a vevői igények kielégítését. A három méret a következő: (1) jumbo (3,21x6-7,2m), (2) duda (3,21x1-2,6m), vágott (kisebb a dudánál).

A minőségellenőrzéshez szükséges minta bármikor „kérhető” a programtól. A következő tesztek elvégzése 80 percenként szükséges: a vastagságmérés, a gépnymó lemérése, a púderteszt, a Zebra-teszt, az élfény, aminek segítségével a legkisebb hibákat is észre lehet venni és a súlymérés, amelyből vissza lehet számolni a napi lehúzott mennyiséget. Minden műszakban egyszer elvégzendő vizsgálatok: Bloom-teszt, üvegsűrűség meghatározása, transzmisszió meghatározása.

2.2.6. Leszedés

A leszedés előtt az üvegtáblákra szeparátor port fújnak, mert a nedvesség korrodálja az üveget, s ez a por magába szívja, valamint könnyebbé teszi a táblák szétválasztását is. Megrendelői kérésre történhet az elválasztás vékony papírlappal is, ill. semmivel. A leszedőasztalon több robot áll rendelkezésre, a jumbo méretű üveget vákuumkorongos Jumbo leszedővel szedik, a duda mérethez másik robotot működtetnek, a vágott méretek leszedése kézi erővel történik.

2.2.7. Raktár

A raktárra került üvegtáblák helyben szállíthatók a bevonósorra, tükörsorra, vagy csomagolható a vevő igénye szerint egyutas, ált. faalapú, és többutas, azaz fémalapú tartóvázas kivitelben. A szállításra előkészített táblákat darukkal és targoncákkal helyezik el a raktárban.

3. Az üveg

Az üveg rendes, természetes körülmények között szilárd, fizikailag homogén anyag, amelynek egyik ismertetője, hogy az elektromágneses hullámokat - a fény látható tartományában- izotróp módon engedi át. Nincs éles olvadáspontja, hanem melegítéskor fokozatosan lágyul meg, majd megy át az olvadék állapotba.[6]

Az üvegszerű anyagok túlhűtött folyadékoknak tekinthetők, amelyekben a kristályosodás elmaradt, és a hőmérséklet csökkenése révén naggyá válik a belső sűrűlódás. Az üveges állapot az anyag különleges megjelenési formája, a kristályos anyagokétól eltérő, de eltérő a folyadékoktól is.[6]

3.1. Az alapanyagok és adalékanyagok szerepe

Kvarchomok: Az üveggyártás legfontosabb alapanyaga, melynek minőségi jellemzője a vastartalmával határozható meg. A legtöbb lelőhelyen nem megfelelő tisztaságú, így olvadáspontja nagyon magas, ezért folyósítószer, általában nátrium-oxidot használnak az olvadási hőmérséklet csökkentéséhez. [5][7]

Szóda (Na_2CO_3): a nátrium-oxid (Na_2O) folyósítószer legfontosabb forrása. Az olvasztás alatt a Na_2O az olvadék részévé válik és CO_2 szabadul fel, ami segíti a homogenizálást és a tisztulást. [5][7]

Dolomit ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$): olvadási hőmérsékleten csökkenti a viszkozitást, javítja a kidolgozását, csökkenti a kristályosodási hajlamot és a hőtágulási együtthatót, ezáltal jobb lesz az üveg hőállósága.

Szulfát: buborékképzőként használják, mert a kén-trioxid (SO_3) gáz leadásával tisztítanak. A keletkezett buborékok nagyméretűek, így képes magába gyűjteni a sok kisebbet, s a felszínre jutva eltávoznak. Tehát ez a buborékmentesítés okoz habréteget a felszínen.[6]

Mésző (CaCO_3): az üveg mechanikai szilárdságát, keménységét, kémiai ellenállóképességét növeli. Az olvasztási viszonyok javíthatók. [7]

Koks: a szulfát redukálásához kell.

EP por: az égéstermékéből leválasztott por elektrofilter által, magas a szulfáttartalma, visszaforgatják a termelésbe. Ezáltal a szulfátból kevesebbet kell felhasználni.

Üvegcserép: használatával csökken az üveg olvasztási hőmérséklete, valamint újrahasznosítási okból is fontos.

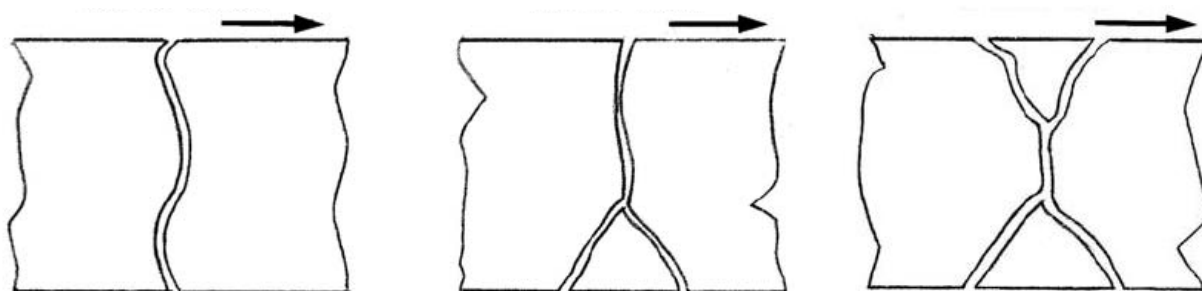
3.2. Feszültség az üvegben

Az üveg temperálása 600 foktól lefele történik. 600 foktól az üveg annealing pontjáig (az üveg összetételétől és hőmérsékletétől függ – Orosházán kb. 540 fokon van) állítják be a maradó feszültséget, azután pedig az átmeneti feszültséget. Ha túl magasak az állandó feszültségek, probléma lehet vágásnál vagy az újravágás során.

Ha a hideg üveglapban nem találjuk meg a temperálási állapotoknak az eredményét, akkor átmeneti feszültségről beszélünk. A túl magas átmeneti feszültségek törést eredményezhetnek.

„Minél kevesebb feszültséget szabadítunk fel a temperálás során, annál kevesebb feszültséget fogunk találni az üvegben a környezeti hőmérsékleten való stabilizálás után.” A nagyon jól temperált üveg nagyon jó. A feszültségmentesített üveg nem jó. A rosszul temperált üveg erős és magasabb hőhatást bír ki a hűtési zónában, viszont a vágás nehéz, mert túl sok a feszültség. Az üveg vágása mindig felszabadítja az üveg belsejében lévő feszültségeket.

A két gyakori töréstípus a hasadás és a keresztirányú törés. Utóbbi legtöbbször defektből törik keresztbe. Megjelenési formáit az alábbi ábrasorozat szemlélteti.[6]



6. ábra. A keresztirányú törés megjelenési fajtái[6]

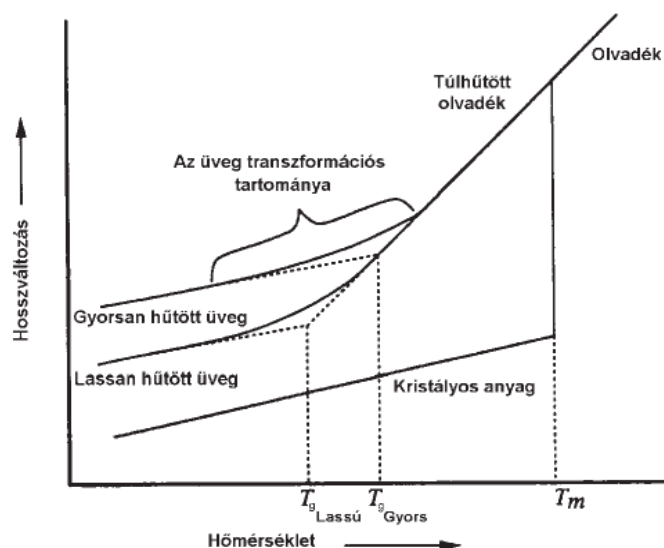
A törés oka lehet, hogy az üvegszalag széle(i) megpróbál(nak) hosszabb(ak) lenni, mint annak közepe, így a közép más módot próbál keresni a tágulásra, ezzel hullámozást előidézve. Ha ez a temperálási zónák alatt vagy után megjelenő problémából adódik, vetemedésnek nevezzük, ha azelőtti problémából erednek, akkor hullámoknak nevezzük. [6]

3.4. Az üvegtulajdonságok és a feszültség kapcsolata

Az üvegolvadék hűtése során nyerhető el a termék végső alakja. Gyors hűtés esetén az üvegben termikus feszültségek ébrednek, amelyek hatással vannak az üvegtermékek mechanikai tulajdonságaira (feszültség, szilárdság, rugalmasság, keménység), így a formázási eljárás végén feszültségmentesítik a terméket.

A feszültség, azaz a felületegységre ható erő, az üveg transzformációs tartománya alatti rugalmas, elasztikus vagy transzformációs, viszkoelasztikus tartományában jöhet létre. Az üvegben keletkező feszültség lehet átmeneti vagy maradó. Az üveg szilárdságának növelése érdekében létrehozott feszültség előnyös, melynek három ismertebb módja: termikus, kémiai és szálerősítéses.

A feszültségek kialakulásakor a fizikai tulajdonságok közül fontos szerepet játszanak: a viszkozitás, a hőtágulás, a rugalmasság és a hővezetés.[8]



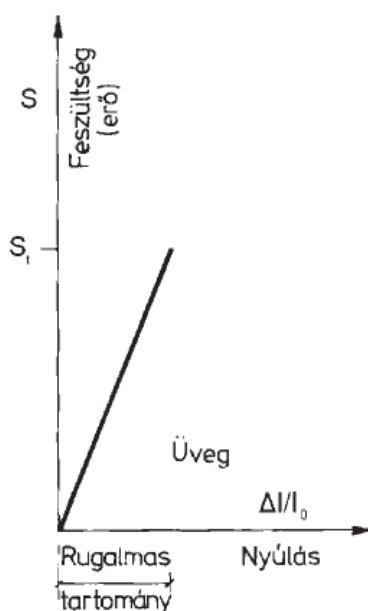
7. ábra. Az üveg dilatόμεteres görbéje [8]

„Az olvadék hűtésekor a transzformációs hőmérséklet-tartomány feletti viszkózus állapotban feszültségek nem keletkezhetnek. Az üvegolvadék részecskéinek hőmozgása nem teszi lehetővé a feszültség kialakulását.” Ha csökken a hőmérséklet, az olvadék viszkozitása nő. Az üvegben kialakul a viszkoelasztikus állapot, ha eléri a felső hűtési pontnak megfelelő hőmérsékletet; s a hőmérséklet további csökkenésének következtében elérhető az alsó hűtési pontot. Feszültség alakulhat ki a viszkoelasztikus tartományban, ahol az üveg viszkózus és rugalmas jellemzői is érvényesülnek. Az üveg szobahőmérsékleten gyakorlatilag szilárd.[8]

Ha a szilárd üveget feszültség éri, annak hatására deformálódik. „Az erő megszűnésével az üveg visszanyeri eredeti alakját, tehát ideálisan rugalmas tulajdonságokat mutat. Az üveg törésig ideálisan rugalmas testként működik. Hook-törvénye szerint az alakváltozás (D) arányos a terhelés hatására fellépő feszültséggel (S).”

$$S = M \cdot D \quad (1)$$

ahol, M arányossági tényező az üveg kémiai összetételétől függő modulus.



8. ábra. Az üveg alakváltozása és a külső erő hatására ébredő feszültség összefüggése

„Az üveg mérete a hőmérséklet növekedésével növekszik. A dilatométeres méréssel kapott görbe segítségével a közepes lineáris hőtágulási együttható és a transzformációs hőmérséklet meghatározható.”[8]

„Az üveg mérete a transzformációs tartományban ugrásszerűen megnő, jelezve, hogy ebben a hőmérséklet-tartományban alapvető szerkezeti átalakulás megy végbe. A méretnövekedés az eltérő hőmérsékletű üvegrészekben különböző, közöttük átmeneti termikus feszültségek ébrednek. A transzformációs tartomány felett kialakuló hőmérséklet-különbségek maradó feszültséget keltenek, megszüntetésük csak utólagos hőkezeléssel oldható meg. A transzformációs tartomány hőmérséklete fölé melegített üvegrész a vele szomszédos, viszonylag hidegebb üvegrészhez képest nagyobb mértékben húzódik össze hűlés hatására. A felső hűtési pontnál nagyobb hőmérsékletre hűlő üvegrészt a hidegebb üvegrész gátolja összehúzódásában. A mintának szobahőmérsékletre való teljes lehűlése után

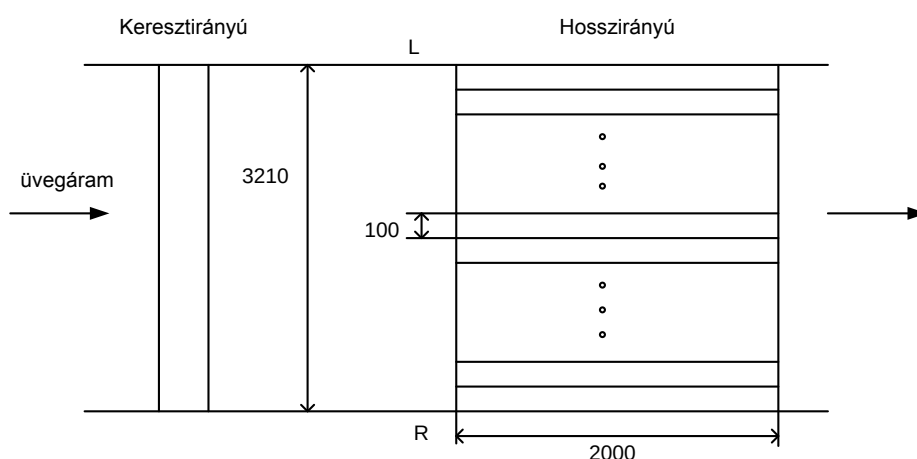
a transzformációs tartománynál nagyobb hőmérsékletről hűtött üvegrészben húzó-, míg a transzformációs tartományt el nem ért részben nyomófeszültség alakul ki.” Az üveg edzése során az üveg felületét a transzformációs tartomány fölé melegítik, de a minta belseje ezt nem lépi túl. A gyors lehűtés hatására a felületi réteg gyors összehúzódásra kényszerül, amelyet a viszkoelasztikus belső réteg enged. A szobahőmérsékletű minta belsejében húzó-, felületén nyomófeszültség alakul ki.[8][9][10] Fontos megemlíteni, hogy az üveg nyomószilárdsága általában többszöröse húzószilárdságánál, ezért az utóbbi vezet az üveg töréséhez, valamint a húzó- és nyomófeszültség mindig együtt ébred. A húzófeszültség szükséges, de nem elégséges feltétele a törésnek, szükség van hozzá még üveghibára is pl. karcolás, buborék.[11]

4. Az üvegminták feszültségvizsgálatai

Ebben a fejezetben ismertetem az elvégzett élfeszültség és hosszirányú behajlás mérés módjait és a kapott eredményeket. Cél a kapott eredmények között összefüggés találása, mely a gyár számára hasznos információkat tartalmaz. Így eldönthető, érdemes-e folytatni ezen újszerű mérések végzését.

4.1. Az üveg hosszirányú feszültsége

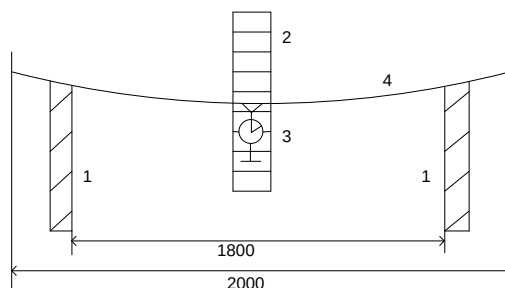
Az üvegben megkülönböztethető hosszirányú és keresztirányú feszültség. A **9. ábra** jól szemlélteti a két mintavevő hely közötti különbséget.



9. ábra. A keresztirányú és hosszirányú feszültség mintavevő helyei

A keresztirányú feszültségméréshez a mintát a húzási irányra merőlegesen veszik, s annak teljes szélességében, azaz 3210mm-ben. Ezt a mérést csak vastagságátálláskor kell elvégezni.

A hosszirányú behajlás méréshez 32db – teljes szalagszélességben felvágott - 100mm széles és 2000mm hosszú minta szükséges. Ezt a mérést vastag (5-10mm) üvegen kötelező elvégezni naponta egyszer, valamint átállás esetén az átállást követő műszakban. A mérést a gyár által készített berendezésen végzik, amelyet a **10. ábra** szemléltet.



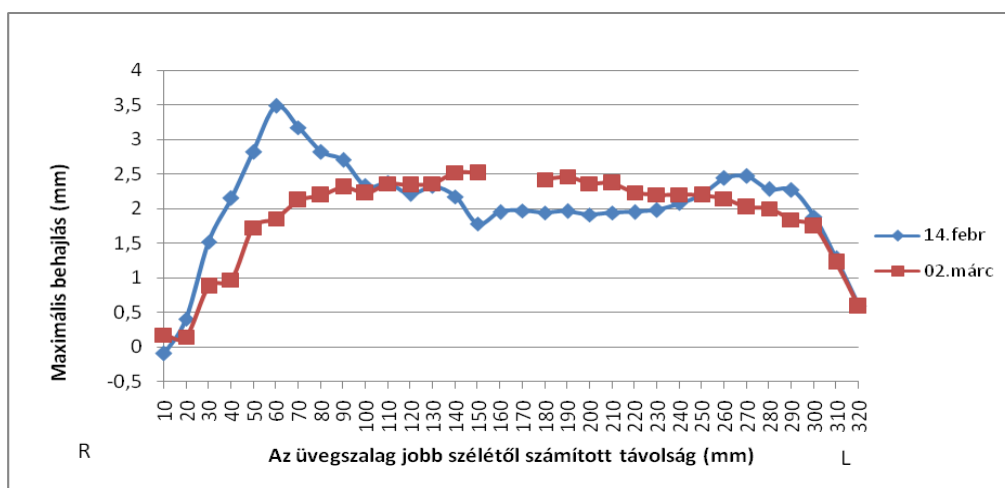
10. ábra. A behajlasmérő berendezés vázlata

1-tartóoszlopok, 2-skála, 3-digitális kijelzős műszer, 4-üveglap

A 32db üveglap mindegyikén le kell mérni az ónoldali és atmoszféra oldali behajlást. Attól függően, hogy a lehr-ben milyen hőmérsékletű hatás éri az üveget az ón-, és atmoszféraoldalról, a behajlásuk között különbség van.

Mérés menete: vesszük balról jobbra számítva a 32db üveglapot. Először felteszik ónoldallal felfelé, s a behajlás mértéke leolvasható a digitális kijelzőről, vagy az üveglap mögött elhelyezett skáláról. Ugyanezt megteszik az üveglapot megfordítva, s a mért értékek közötti különbséget rögzítik, s használják fel a kiértékeléshez.

A 4mm vastagságú üveg mérési eredményeit az alábbi grafikon mutatja:

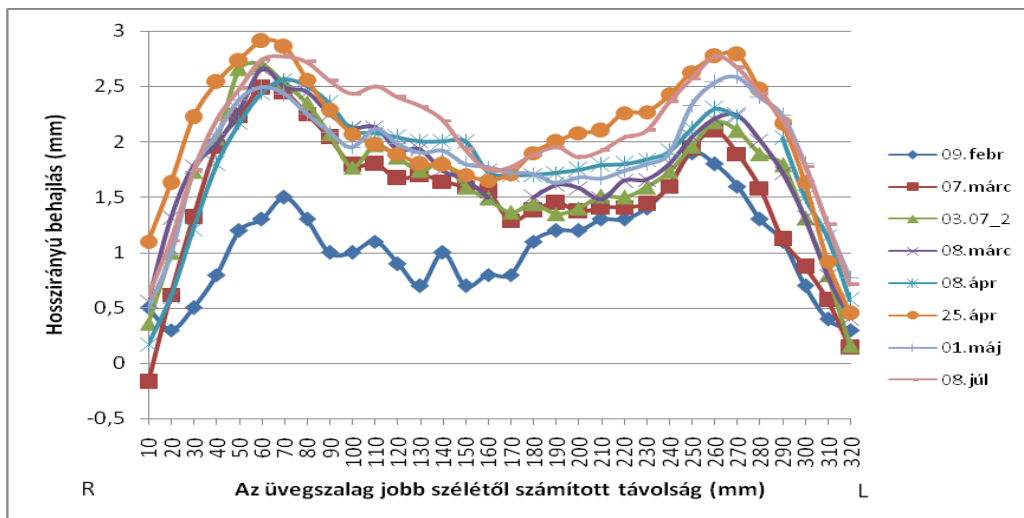


11. ábra. A 4mm vastagságú üvegszalagoknak az atmoszféra és ónoldal behajlása közötti különbsége

A 4mm standard vastagságú üvegnél két mintasorozat mérési eredményei láthatóak. Az egyes üvegszalagokra kapott eredményeket a **11. ábrán** látható diagram szemlélteti. Az eredményekből következtethetünk az üvegtábla teljes szélességében lévő húzó-, ill.

nyomófeszültség állapotra. A két görbe menete nem egyezik meg, viszont az $[-0,3; 3,5]$ intervallum, amin belül mozognak a behajlás értékek közel azonos.

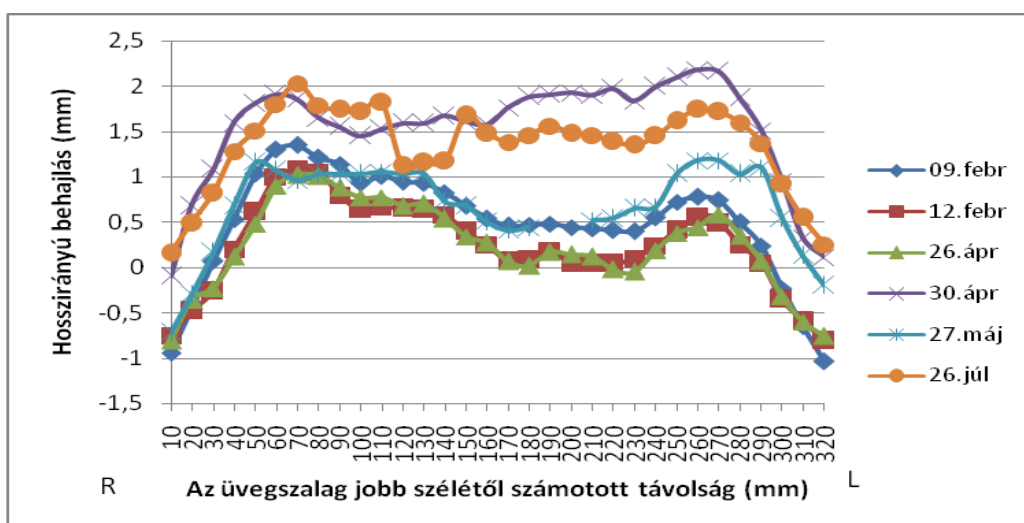
A 6mm vastagságú üveg mérési eredményeit az alábbi grafikon mutatja:



12. ábra. A 6mm vastagságú üvegszalagoknak az atmoszféra és ónoldal behajlása közötti különbsége

Az egyes görbék $[-0,2; 3]$ intervallumba esnek mind, viszont eltérő a menetük (jellegük hasonló) annak ellenére, hogy a hűtőszalag beállításiban nem történt módosítás, ami hatással lehetett az üvegben kialakuló feszültségekre.

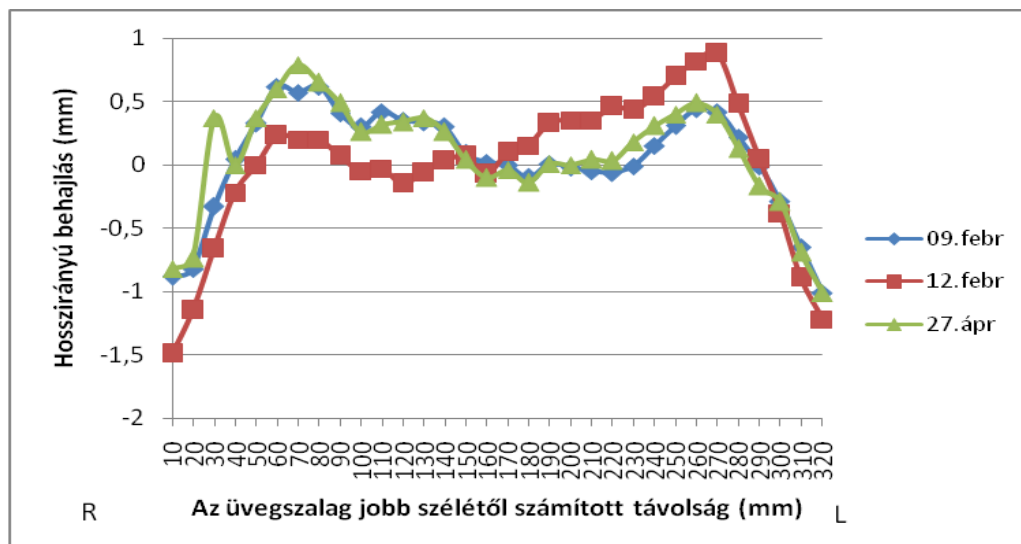
A 8mm vastagságú üveg mérési eredményeit az alábbi grafikon mutatja:



13. ábra. A 8mm vastagságú üvegszalagoknak az atmoszféra és ónoldal behajlása közötti különbsége

Ebben az esetben a mérési eredmények $[-1; 2,3]$ közé esnek. Vannak közel azonos módon futó görbék, ugyanakkor teljesen eltérőek. Ezen eltérések meglétére magyarázatot nem találtam, ugyanis a hűtőszalag hőmérséklet és az egyéb beállításokban nem történt változtatás.

A 10mm vastagságú üveg mérési eredményeit az alábbi grafikon mutatja:



14. ábra. A 10mm vastagságú üvegszalagoknak az atmoszféra és ónoldal behajlása közötti különbsége

Itt három mintasorozat eredményei állnak rendelkezésre, ahol megfigyelhető, hogy két görbe közel azonos módon fut. Az eddigiekhez képest csökkent a behajlási tartomány, az eredmények $[-1,5; 1]$ közé esnek.

4.3. Az üveg élfeszültsége

Az üveg élfeszültségét a minőségellenőrző pontnál található Strainoptic GES-100-MWA típusú feszültségmérő készülékkel mértem, melyet a **15. ábra** mutat.



15. ábra. Az élfeszültségmérő készülék

Átvéve: <http://www.glassonweb.com/directory/utis/photo.php?id=266>

Az MWA mérőkészülék egy precíziós BABINET kiegyenlítő, amit feszültség alatt lévő átlátszó anyagok kettős törésének mérésére terveztek. [6]

Az élfeszültség mérése mellett használható a késleltetés és a feszültség mérésére, amelyhez szükséges mikroszkóp a nagyított kép szemléléséhez és a feszültség pontos méréséhez. A GES-100 ház hordozható „polarizáló mikroszkóp”. Az állvány kialakítása lehetővé teszi a vizsgáló személy számára a néző mezőben az üvegél gyors vizsgálatát.

„A késleltetés mérése: Az élfeszültség σ_ε mentén vibráló polarizált fény a feszültség alatt lévő anyagon keresztül eltérő sebességgel terjed, mint az erre merőleges síkban vibráló fény. Az eltérés eredménye a sebességből adódik, a két P1 és P2 vibrálás elkülönül és viszonylagos távolságuk, késleltetés (R), a feszültséghez viszonyítva az alábbi.

$$R = C_B \cdot \sigma_\varepsilon \cdot t \quad (2)$$

ahol, R késleltetés, C_B feszültség optikai állandó (anyagra vonatkoztatva), σ_ε élfeszültség, t vastagság.

Ez a relatív késleltetés interferenciát hoz létre a színes diffrakciós sávok következtében, amit polariméter alkalmazásával lehet vizsgálni.”

A késleltetés mérésének legmegbízhatóbb eszköze a kiegyenlítő, amely szabályozott késleltetést valósít meg és lelassítja a gyors hullámot. Amikor a kiegyenlítő késleltetése és a minta azonos, valamint ellentétes, a két összeg nullává válik és a fekete diffrakciós sávot a mért pontnál látjuk.

Ha az üvegben feszültség van, a diffrakciós minta a nullától arányosan változik a feszültség mértékének megfelelően. Mivel a feszültség úgy változik és növekszik, ahogy közelebb kerülünk az üveg éléhez, a diffrakciós minta is elmozdul jellegzetesen görbe megjelenést nyújtva.” Az élfeszültség számolható az (3.a) összefüggés átalakításával:

$$E = \sigma_{\varepsilon} = \frac{R}{C_B \cdot t} = \frac{K_e}{A \cdot V} \quad (3.a)$$

ahol, E élfeszültség, K_e késleltetés, A anyagállandó, V vastagság.

$$K_e = D \cdot b \quad (3.b)$$

ahol, D tárcsaosztás, b kiegyenlítő állandó. A (3.b)-es összefüggést felhasználva tovább alakítható a (3.a) összefüggés.

$$E = \frac{D \cdot b}{A \cdot V} = \frac{D \cdot b}{C_B \cdot t} \quad (3.c)$$

Tehát az élfeszültség méréséhez szükséges adatok:

- tárcsaosztás-ez a kiegészítő tárcsaérték: D [szám]
- vastagság: V [mm]
- kiegyenlítő állandó: b [mm/szám]
- anyag állandó: A [mm^2/N]

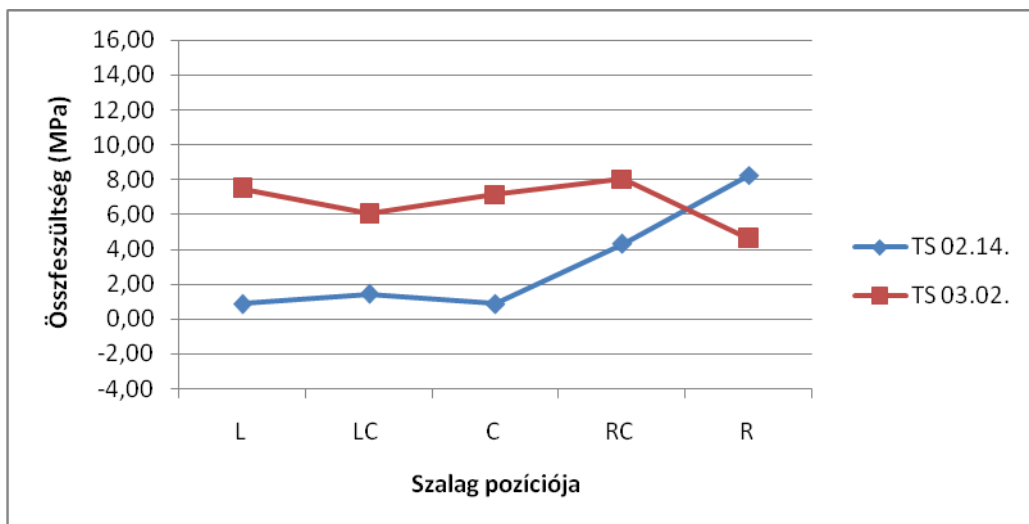
Minta előkészítése: a hosszirányú hajlás vizsgálatra előkészített mintákból vesszük az 1.-t, 8.-at, 16.-at, 24.-et és a 32.-et, és ezekből vágjuk le a téglalap formájú mintáinkat élfeszültség mérésre. Mindegyik üveglapon megjelöljük, hogy a szalag melyik részéből való, azaz L a bal oldal, LC a balközép, C a közép, RC a jobb közép és R a jobb oldal.



16. ábra. Az élfeszültség vizsgálat mintadarabjai

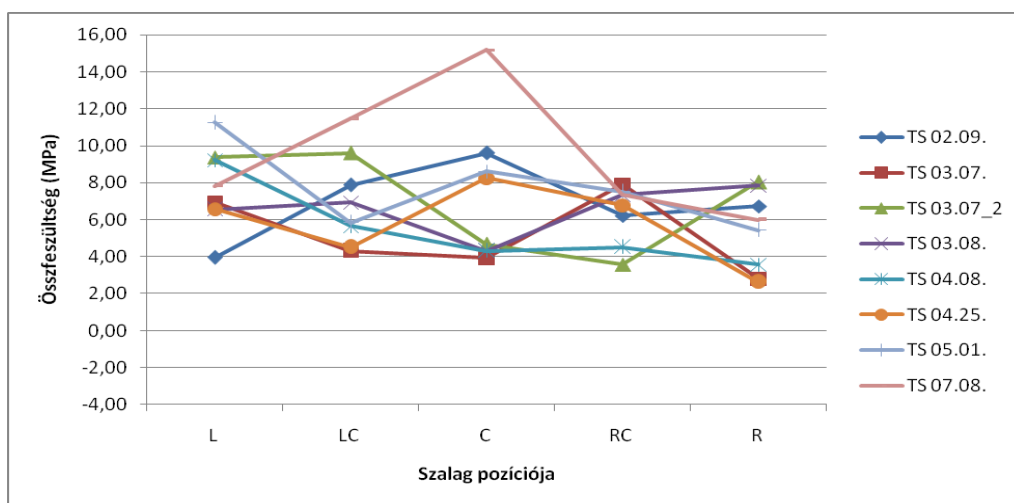
A mérés menete: először mindegyik üveglapnak lemértem a vastagságát. Aztán a mérőberendezésen a kiegyenlítő vonalat nullpontra állítottam, majd a mintadarabot élével a mikroszkóp alá helyeztem. A keletkezett görbevonalt parabolához hasonlítható, amelynek lemértem a minimumpontját valamint a bal és jobb szárának a maximum pontjait hozzárendelve a közepet, az atmoszféra-, és az ónoldalt. A kapott adatokat rögzítettem, ahol a beírt (2) összefüggés segítségével számítható az élfeszültség az atmoszféra oldalra, a közép-re és az ónoldalra. A három élfeszültségből kiszámítható az összefeszültség (az ón-, és atmoszféraoldal számtani közepe és közép összege). Ezen értékeket diagramon ábrázoltam.

Az összefeszültség görbéket egy üvegvastagságon belül egyszerre ábrázolom, így jobban összehasonlíthatók.



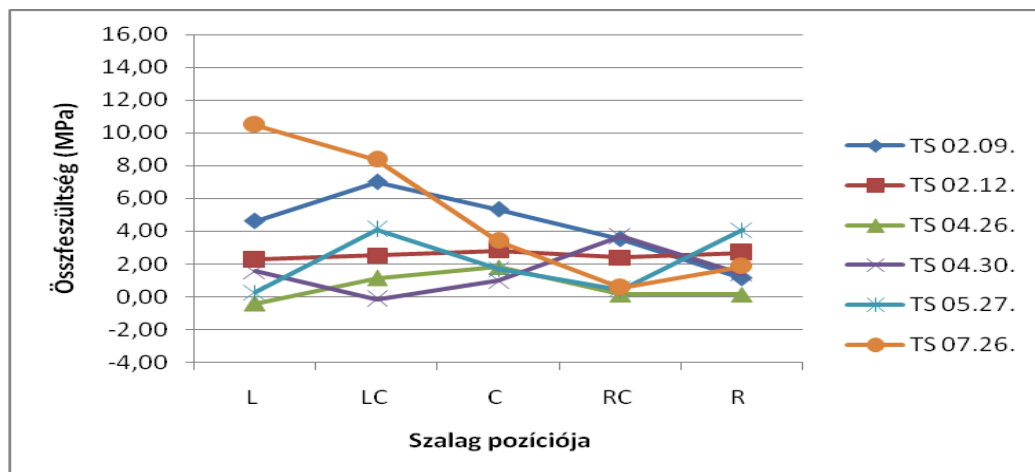
17. ábra. Az összfeszültség görbék 4mm vastagságú üvegben

A két eredmény alapján megállapítható, hogy a feszültség nagysága eltérő, menetük különböző, nincs kapcsolat közöttük. A hűtőszalag A zónájában 1°C változtatás történt.



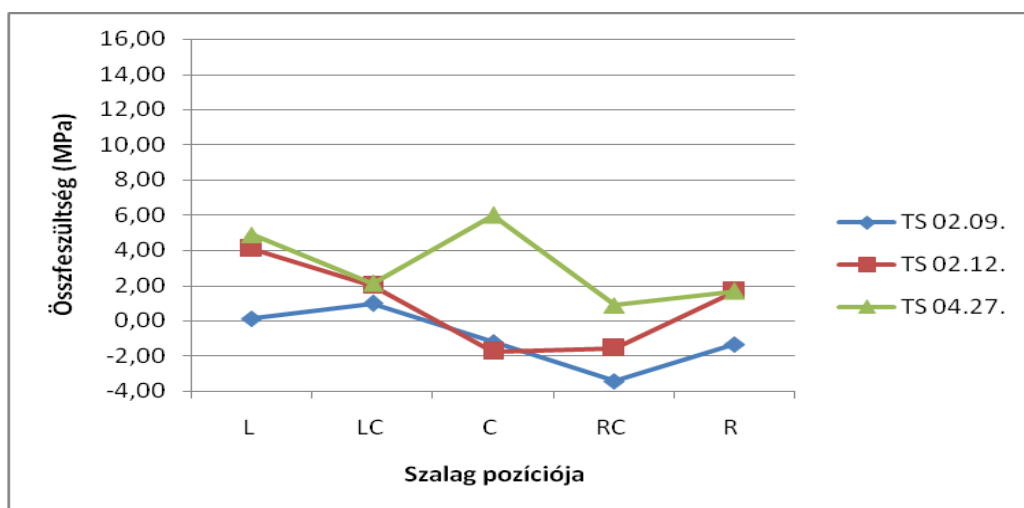
18. ábra. Az összfeszültség görbék 6mm vastagságú üvegben

Ebben az esetben 8 különböző időpontban gyártott üvegszalag áll rendelkezésre, mely jobban tudja szemléltetni, ha van összefüggés a görbék között. A görbék közül, mint látható, egy tűnik ki, a többi menete nem azonos, de kialakítanak egy tartományt [2; 12] amely között az értékek mozognak.



19. ábra. Az összefeszültség görbék 8mm vastagságú üvegben

A görbék menetében nem látható összefüggés annak ellenére, hogy a hűtőszalag beállításában nem történt változtatás.



20. ábra. Az összefeszültség görbék 10mm vastagságú üvegben

Ezen görbék sem mutatnak összetartást, menetük eltérő. A kapott eredmények [-4; 6] közötti tartományban mozognak.

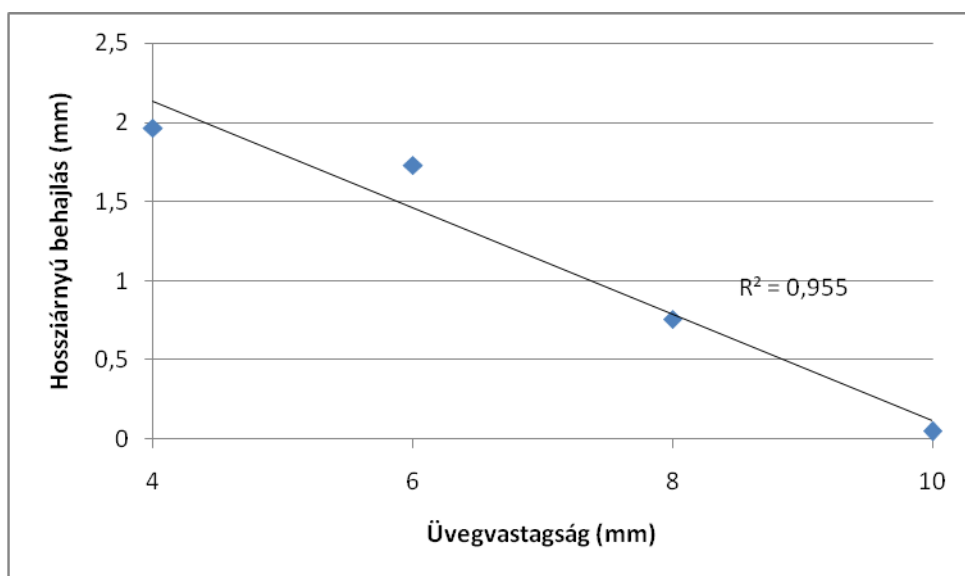
A jobb összehasonlíthatóság érdekében azonos függőleges skálát használtam, így látható a tartományok negatív irányba való haladása.

Mivel a fent bemutatott gyártási időpontok, üvegszalag vastagságok nem adtak egyértelmű összefüggést a behajlás és a feszültség értékek között, így további vizsgálatokat végeztem.

4.4. Az élfeszültség és a hosszirányú behajlás mérések közötti kapcsolat keresése

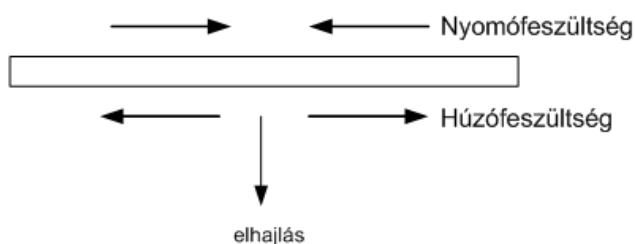
Az élfeszültség és hosszirányú behajlás mérések közötti kapcsolat feltételezésének oka, hogy a hosszirányú behajlásra felhasznált mintadarabokból származnak az élfeszültség méréshez szükséges mintadarabok.

A következő diagramok összesített és átlagolt értékeket tartalmaznak, s egy-egy pont mögött 20 ill., akár több 100 mérési eredmény áll.

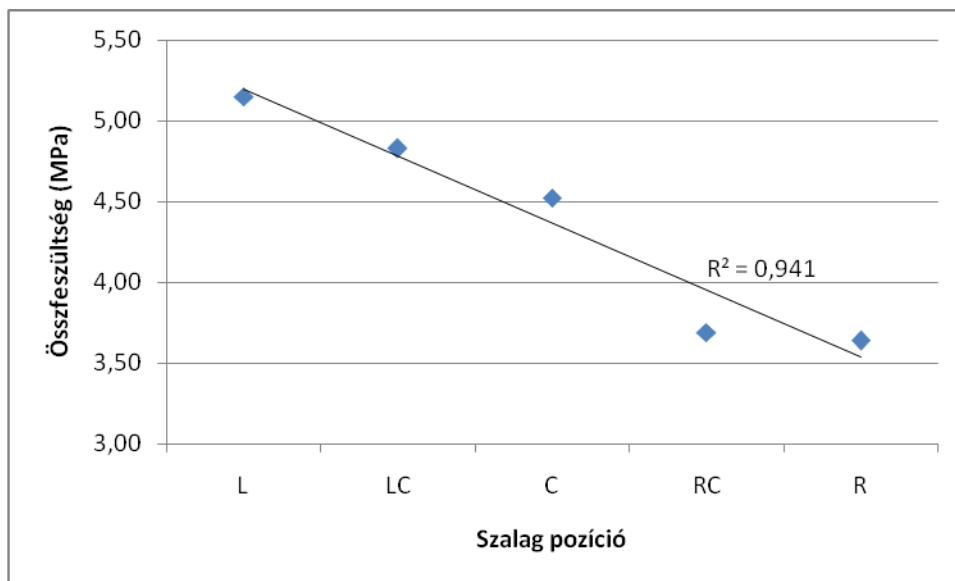


21. ábra. Helytől függetlenül az üveg minta vastagságának függvényében az átlagolt hosszirányú behajlás

A **21. ábra** mutatja, hogy a 4mm vastagságú üveg behajlása a legnagyobb, és az üvegvastagság növekedésével közel lineárisan csökken a hosszirányú behajlás nagysága. A pontokra illesztett trendvonal 95,5%-os pontossággal mutatja, hogy a különböző üvegvastagságok esetén mért értékek is erre az egyenesre illeszkednének. Tehát megállapítható hogy, minél vékonyabb az üveg, annál nagyobb a behajlás mértéke.

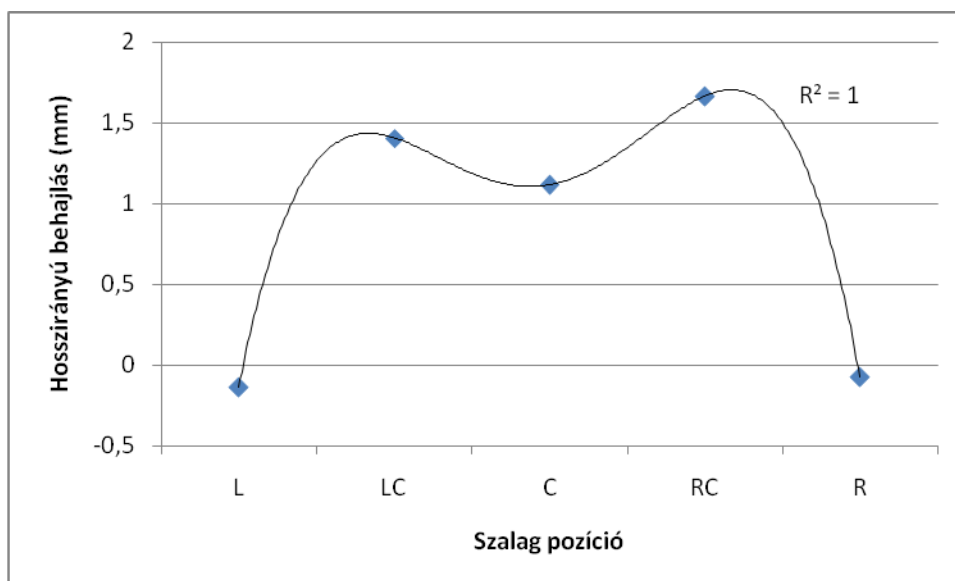


22. ábra. Az üvegszalag hajlásának létrejötte



23. ábra. Az összefeszültség az üvegminta keresztmetszetén annak vastagságától függetlenül

A **23. ábra** szerint az üvegszalag keresztmetszetén balról jobbra haladva az összefeszültség közel lineárisan csökkenő tendenciát mutat. Tehát az üvegszalag bal oldalán csaknem 30%-kal nagyobb feszültség alakul ki, mint annak jobb oldalán.



24. ábra. A hosszirányú behajlás ábrázolása az üvegszalag teljes keresztmetszetén a minták vastagságától függetlenül

A **24. ábra** szerint az üvegszalag teljes keresztmetszetére nézve csaknem teljesen szimmetrikus képet kapunk. A behajlás során az üvegszalag közepére várnánk a legnagyobb behajlás értéket, de a mérések összegzése alapján, ott az ellenkezője történik, s csökken annak

értéke. A görbe két maximum ponttal rendelkezik, melyek közrefogják a szalag közepét. Az üveg közepén legnagyobb a nyomófeszültség, a két maximum pont, azaz a húzófeszültségek próbálják ellensúlyozni ezt a hatást.

További feltételezésem, hogy az ónfürdő gyártástechnológiai részénél a vastagság beállításához használt szélfogó görgőpárok okozhatják ezt az eredményt. Az üvegszalagot a szélénél fogva húzzák, oldalra és előre ható erők hatására érik el a kívánt vastagságot. Ez a beavatkozás elindít egy hatásmechanizmust, mely az üvegszalag szélét jobban húzza, az LC és RC helyeknél kissé lemarad (viszkozitás- és hőmérséklet csökkenés hatása), míg az üvegszalag közepén melegebb az olvadék - kisebb ezen a területen a viszkozitás - úgymond „előrehalad” az üvegáram.

5. Összefoglalás

A dolgozatomban röviden ismertetem a Guardian Orosháza Kft. síküveg gyártásának technológiáját, valamint vizsgáltam a gyártott üvegszalagban ébredő feszültségeket.

A dolgozatom fő célja az volt, hogy a különböző mérési módszereket összehasonlítsam eltérő üvegvastagságok esetén, valamint az eredmények között fizikai és/vagy matematikai összefüggést találjak.

A vizsgálatot a hosszirányú behajlás mérési eredményeinek kiértékelésével kezdtem, melynél megállapítható, hogy az eltérő üvegvastagságok esetén a görbék hasonló lefutásúak, de az értékek intervallumai a vastagságok függvényében változnak.

Az összefeszültség mérés eredményei alapján elmondható, hogy a görbék eltérő üvegvastagságokon eltérő lefutásúak, de összességében nézve egy intervallumon belül haladnak.

A hosszirányú behajlás mérési eredményeit átlagoltam és az elhelyezkedést elhanyagolva azt az eredményt kaptam, hogy a vékonyabb üveg behajlása nagyobb mértékű, mint a vastag üvegé, s közöttük az összefüggés lineárisan csökkenő.

A minta vastagságától eltekintve az összefeszültség értékeket ábrázolva a mintavétel helyét figyelembe véve megállapítható, hogy az üvegszalag bal oldalán (a húzási irány szerint) 30%-kal nagyobb összefeszültség alakul ki.

Szintén a minta vastagságától eltekintve, de a hosszirányú behajlás mérési eredményeit ábrázolva feltételezem, hogy az üvegszalag közepén a legnagyobb a nyomófeszültség, s a húzófeszültség próbálja ellensúlyozni ennek mértékét, melyek a görbe két maximum pontját jelentik. Továbbá feltételezem, hogy a görbe jellege az ónfürdőben található szélfogó görgőpároknak köszönhető.

Terveim közé tartozik az üzemi körülmények között végzett mérések folytatása az Orosháza Guardian Kft.-nél és összefüggést találni, a kapott eredmények és a keverékképzés- valamint a hőkezelés, húzás hatásmechanizmusa között.

Irodalomjegyzék

- [1]<http://www.proidea.hu/guardian-hungary-co-ltd-206211/index/Cegbemutato.pdf>
- [2]http://www.archicentrum.hu/index.php?_m=ceginfo&a=1&f_%5Bcegid%5D=70&f_%5Boldal%5D=0
- [3]Lipták György: Kihívások és eredmények a magyar üveggyártás elmúlt 10 éves történetében. *Építőanyag* **2009**, 61. évf., 3. szám, 95-98.
- [4]<http://www.jullichglas.hu/download/tech.pdf>
- [5]Útmutató az elérhető legjobb technika meghatározásához az üveggyártás engedélyeztetése során, Budapest, 2009.
- [6]Orosháza Guardian Kft. saját belső anyaga
- [7]Dr. Tamás Ferenc: Szilikátipari kézikönyv, Műszaki Könyvkiadó, Bp., 1982.
- [8]Horváth István, Szabó István: Feszültségmérési módszerek alkalmazása az üveggyártásban. *Építőanyag* **2003**, 55. évf., 4. szám
- [9]J.E. Shelby: Introduction to Glass Science and Technology, The Royal Society of Chemistry, UK, 2005
- [10] Mei Wena, Jean-Michel Chabagno, Gary Silverman, Maurice Bourrel: Edge-strengthening of flat glass with acrylate coatings, *Journal of Non-Crystalline Solids*, 2008.
- [11]Széwald Oszkár: Üvegfeszültségek kialakulása és mérése a lámpagyártásban, *Építőanyag*, **2001**, 53. évf. 4. szám

Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretném megragadni az alkalmat, hogy köszönetet mondjak konzulenseimnek, Erdélyi János egyetemi tanársegédnek és Paróczai Csilla melegvégi technológusnak a dolgozat írása során adott hasznos információkért, tudásuk megosztásáért.

Köszönettel tartozom az Orosháza Guardian Kft.-nek, hogy lehetővé tette számomra a float üveg gyártástechnológia megismerését, a mintadarabok hozzáférését, s az üzemi körülmények közötti mérések elvégzését. Valamint köszönöm az Orosháza Guardian Kft. valamennyi dolgozójának az önzetlen segítségnyújtást.

Tisztelettel:

Szemán Ágnes

MSc II. éves anyagmérnök hallgató