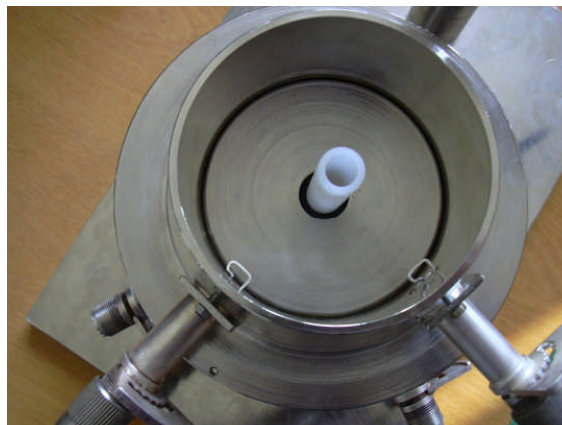


Élelmiszerek viselkedését az elektromágneses erőterben nagymértékben meghatározza az anyag dielektromos állandója. A kutatások kezdetén rendelkezünk egy csőtápvonalas mérőrendszerrel, amely elsősorban szilárd halmazok permittivitásának meghatározására alkalmas. Kifejlesztésre került egy üregrezonátoros mérőrendszer (1. ábra), amellyel már folyékony élelmiszerek (pl. tej) dielektromos tulajdonságai is meghatározhatóak.



1. ábra üregrezonátoros mérőrendszer



2. ábra üregrezonátor és mintatartó

Mérési és számítási eredményeink alapján algoritmust állítottunk fel, amellyel gyorsan és egyszerűen tudjuk megbecsülni különböző nedvességtartalmú és halmazsűrűségű gabona komplex permittivitását. Első lépésben az „egyszem” mag komplex dielektromos állandóját számítjuk ki a nedvességtartalom ( $w$ , %) ismeretében. Az (1) összefüggésben  $k$  a búzára jellemző komplex konstans ( $k = 0.053-0.053j$ ),  $\varepsilon_a$  pedig egy elméleti alapérték amely megfelel a „tökéletesen száraz” búza mag dielektromos állandójának ( $\varepsilon_a = 4.132-0.151j$ ).

$$\varepsilon_{mag} = k \cdot w + \varepsilon_a \quad (1)$$

A (1)-es összefüggést felhasználva, valamint alkalmazva a Landau-Lifshitz, Looyenga halmazok összegezhetőségére vonatkozó egyenletét (2), gyorsan és egyszerűen tudjuk megbecsülni különböző nedvességtartalmú és halmazsűrűségű búza komplex permittivitását.

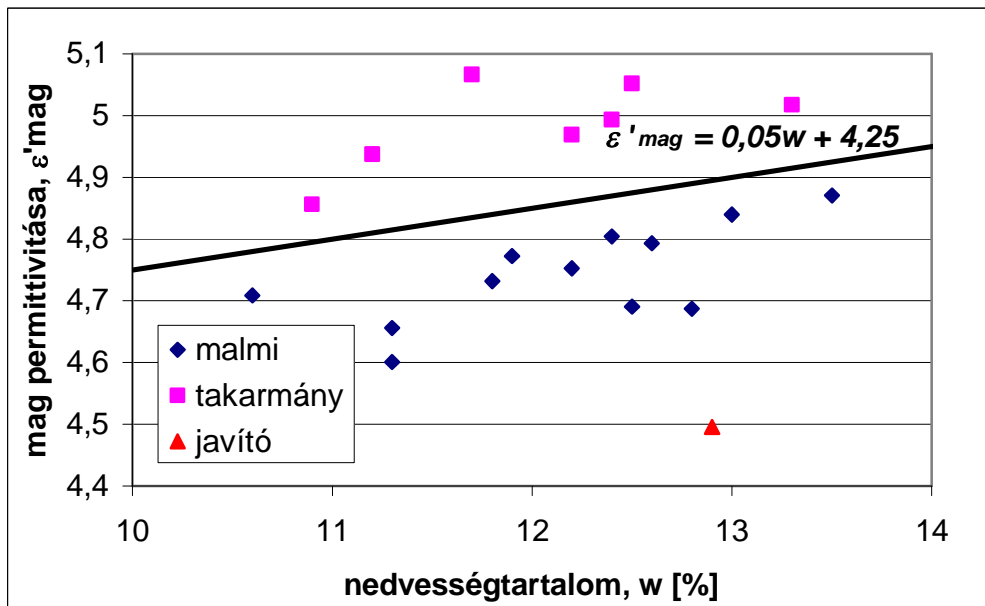
$$\left(\varepsilon_{halmaz}\right)^{1/3} = v_{levegő} \cdot \left(\varepsilon_{levegő}\right)^{1/3} + v_{mag} \cdot \left(\varepsilon_{mag}\right)^{1/3} \quad (2)$$

A (2) összefüggésben  $\varepsilon_{halmaz}$  az adott nedvességtartalmú és halmazsűrűségű búza komplex permittivitását jelöli,  $\varepsilon_{levegő}$  levegő komplex permittivitása, esetünkben mindig  $1-0j$  (nincs vesztesége),  $\varepsilon_{mag}$  pedig az (1) összefüggéssel számított búzamag komplex permittivitása. Továbbá  $v_{levegő}$  és  $v_{mag}$  a komponensek (levegő és mag) által képviselt részmennyiségek, amelyekre mindig igaz, hogy  $v_{levegő} + v_{mag} = 1$ .

A vizsgált búzákra felhasználva az előzőekben leírt algoritmust, 2.45 GHz frekvencián, különböző halmazsűrűségű és nedvességtartalmú mintákra a becslések hibája a mért értékekhez képest a valós dielektromos állandó tekintetében kevesebb mint 2%, még a veszteségtényező esetén kevesebb mint 4%-ra adódott.

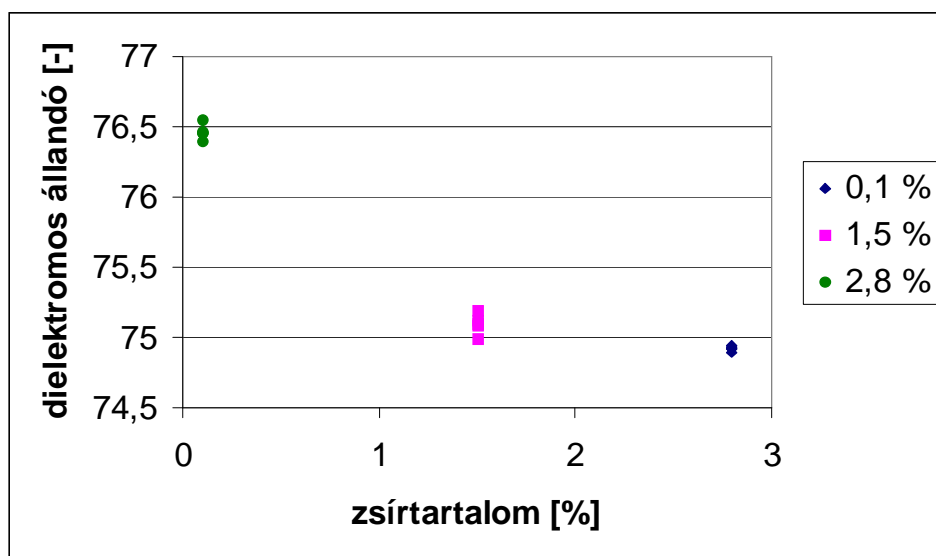
Kutatásaink során összefüggéseket találtunk a búza dielektromos jellemzői és a minőségét meghatározó paraméterek között. Búza minőségi besorolásának (malmi, takarmány, javító) alapjául a MSZ 6383:1998 szabvány szolgál. Meghatározó paraméterek a halmaz hektoliter tömege (halmazsűrűsége), nedvesség-, nedves siker- és nyersfehérje-tartalma valamint az esésszám. Az első kettő alapvetően befolyásolja a búza permittivitását és veszteségtényezőjét.

Szemestermény halmazok méréssel meghatározott komplex dielektromos állandójából, számítással a Landau-Lifshitz, Looyenga keverék egyenletet felhasználva, adott nedvességtartalmú magok dielektromos jellemzői határozhatók meg. A magok permittivitását a nedvességtartalom függvényében ábrázolva az eltérő minőségi besorolású minták eredményei határozottan elkülönülnek egymástól (3. ábra). Ezen felismerésünk segít a búza minősítésének elvégzésében, ellenőrzésében.



3. ábra Mag permittivitása a nedvességtartalom függvényében

A folyékony élelmiszerekkel (tej, sör) végzett vizsgálatok azt mutatták, hogy a szemes terményekhez hasonló módszerrel a dielektromos jellemzők nem kalkulálhatók. Nem sikerült kimutatni, hogy a folyadékok szárazanyag tartalmának és a víz a dielektromos állandójának ismeretében az elegy dielektromos jellemzői meghatározhatók. Eredményként diagnosztizáltuk azonban, hogy a tej minták valós dielektromos jellemzői egyértelmű információval szolgálnak a tej zsírtartalmára. A 4. ábrából látható, hogy a zsírtartalom növekedésével a valós dielektromos jellemző értéke csökken

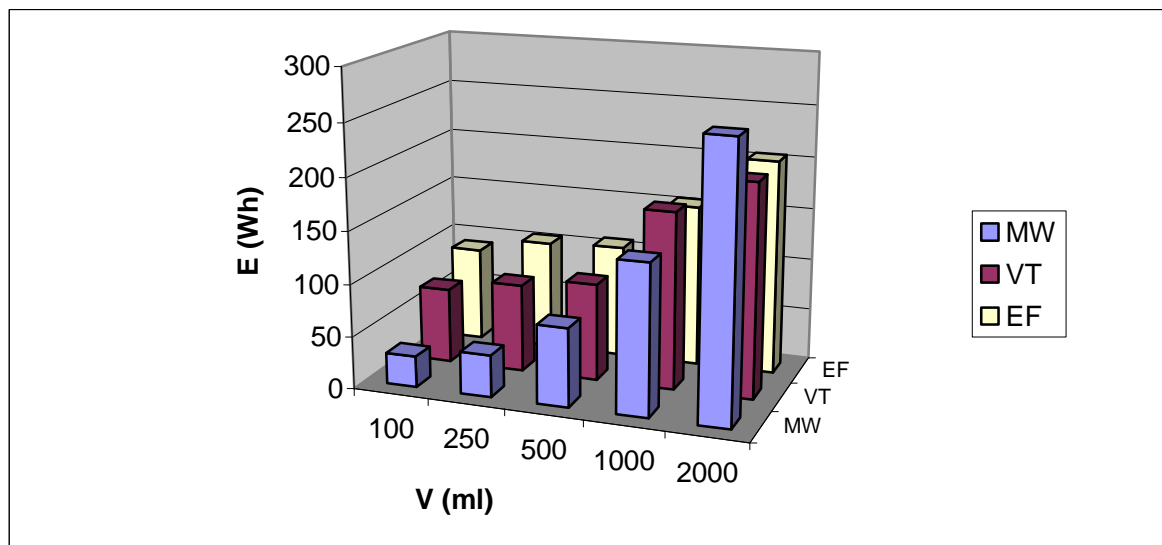


4. ábra Tej dielektromos állandója a zsírtartalom függvényében

Korábbi eredményeinket felhasználva kutatásainkat az elektromágneses térben elvégezhető élelmiszertechnológiák vizsgálatával folytattuk. Célként határoztuk meg folyékony élelmiszerek **pasztőrözését mikrohullámú energiaközléssel**. A mikrohullámú energia termikus alkalmazásának sajátos jellegét az határozza meg, hogy a hőenergia a melegítendő anyag belsejében szabadul fel, ennek következtében a melegítés gyorsabb. A dielektromos hevítés alkalmazásai közül ismert a magvak és élelmiszeripari termékek szárítása, a vetőmag kezelése a csírázás és a növekedés javításának érdekében, a termékek hevítése táplálkozási és egyéb jellemzőik javítása érdekében, kártevő szabályozás, enzim inaktiválás (előfőzés), pasztőrözés és sterilizálás. A mikrohullám olyan elektromágneses hullám, amelynek frekvenciája 300MHz-300GHz között található. Az élelmiszeripar számára azonban biztonsági okok miatt mindössze néhány frekvencia engedélyezett: 915MHz, 2.45GHz, 5.8GHz és 24.124GHz.

Kezdeti kísérletek – a pasztőrözés elvégezhetősége mellett – a energiafelhasználás megállapítására szolgáltak. A mikrohullámú melegítést összehasonlítottuk más villamos energiát felhasználó melegítési módszerekkel, mint elektromos főzőlap és vízfürdős termosztát. A felmelegítést háztartási mikrohullámú készülékkel (Whirlpool AT314), elektromos főzőlap (ETK 5508) valamint vízfürdős termosztát (PHYWE S07022) segítségével végeztük el. Mindhárom eljárás névleges villamos teljesítménye 1000 W, az energiafogyasztást Actaris SL 7000 típusú fogyasztásmérővel mértük. A minták hőmérsékletét ALMEMO 2590-9 készülékkel CU-CuNi hőelemek segítségével egyszerre nyolc ponton folyamatosan ellenőriztük.

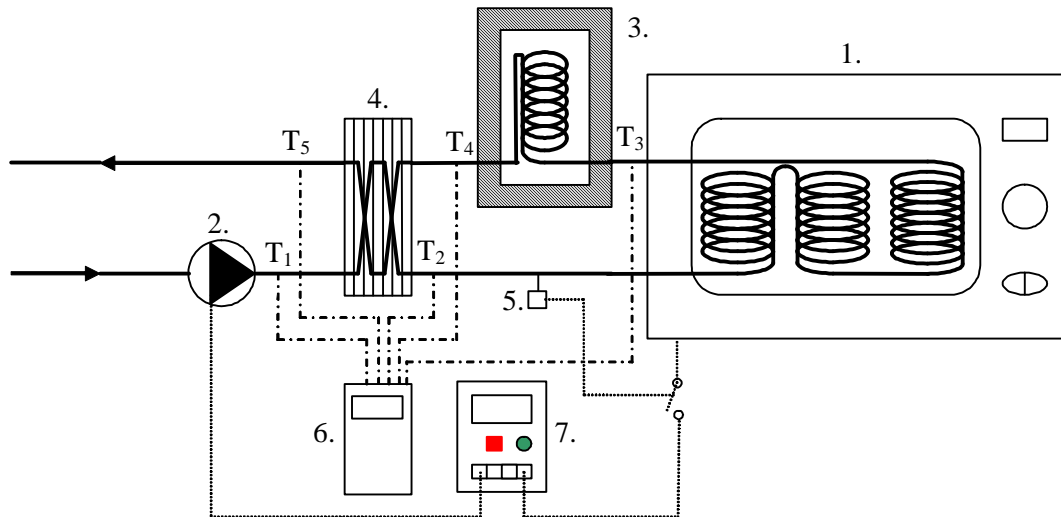
Kutatásaink tej, desztillált víz és sör esetében igazolták a mikrohullámú melegítés (MW) gyorsaságát. Az energiafelhasználás vizsgálata (5. ábra) alapján megállapíthatjuk, hogy háztartási mikrohullámú készülékkel 1 liternél nagyobb mennyiségek felmelegítése magasabb energiafelhasználást igényel mint a vízfürdős termosztáttal (VT) vagy az elektromos főzőlappal (EF) folytatott felmelegítés. Hasonló következtetés vonható le az energiahasznosulás (hőteljesítmény és villamos teljesítmény hányadosa) eredményeiből is. Látható viszont, hogy a kisebb mennyiségek esetén a mikrohullámú eljárás kínálja a kedvezőbb eredményeket.



5. ábra Energia felhasználás

Ezek alapján olyan folyamatos üzemű készülék fejlesztését tűztük ki célul, amelyben működés során a mikrohullámú térben adott pillanatban kisebb mennyiség tartózkodik, így kedvezőbb energiafogyasztást értünk el, nagyobb mennyiségek melegítésénél is. Egyik lehetőség egy átfolyós rendszerű készülék, amely csomagolás előtt végzi el a pasztörözést. Másik lehetőség a már csomagolt (dobozos tej, palackozott sör) mikrohullámú térbe való helyezése és pasztörözése. Ez utóbbi esetben egy belső hőkeltésen alapuló energetikailag hatékony technológia, amely során már csomagolt, palackozott termék pasztörözése valósítható meg, kiválthatja a költséges aszeptikus technológiákat.

Folyékony élelmiszerek csomagolás előtti mikrohullámú hőkezelése (pasztörözése) céljából **laboratóriumi hőkezelő berendezést** fejlesztettünk ki. A berendezés kereskedelemben kapható mikrohullámú készülékből lett átalakítva kezdetben **szakaszos**, majd **folyamatos** üzemű pasztörözés céljára. A folyamatos üzemet a mikrohullámú készülékbe helyezett **üvegspirál** segítségével alakítottuk ki. A kezelési idő az áramoltatás sebességével és a spirálcső hosszának változtatásával szabályozható. A kialakított laboratóriumi méretű folyamatos üzemű mikrohullámú pasztör felépítése az 6. sz. ábrán látható. Egy háztartási mikrohullámú készülék (Whirpool AT 314 MW) oldalán 2 db 7mm átmérőjű furatot készítettünk egymástól 8 cm távolságra a folyadék be és elvezetése céljából. A furatok méretét és távolságát úgy választottuk meg, hogy a készülék biztonságosan üzemeltethető legyen. A speciális üvegspirálokkal kiegészített mikrohullámú készülékhez csatlakoztattunk egy adagolószivattyút (STENNER 85M5), valamint tömeg (XP-3000), térfogat, idő, és hőmérsékletmérő (ALMEMO 2590-9) műszereket. A mérőkört kiegészítettük egy hővisszanyerő lemezes hőcserélővel (Alfa-Laval), hőntartó szakasszal, valamint áramlásérzékelővel, fogyasztásmérő órával (ACTARIS SL7000).



**6. sz. ábra Folyamatos üzemű laboratóriumi pasztöröző**

1- Whirpool AT 314 mikrohullámú készülék spirál betétekkel, 2- STENNER 85M5 adagolószivattyú, 3- hőntartó szakasz, 4- Alfa-Laval CB14-14 hővisszanyerő, 5- áramlásérzékelő, 6- ALMEMO 2590-9 hőmérsékletmérő, 7- ACTARIS SL7000 fogyasztásmérő

Az egyes hőmérséklet mérési pontok a 6. sz. ábra alapján a következők:  $T_1$ - a kiindulási,  $T_2$ - az előmelegített anyag hőmérséklete.  $T_3$ - a mikrohullámú készülékből kilépő,  $T_4$ - a hőntartó szakasz utáni és végül  $T_5$ - az előhűtött termék hőmérséklete.

Az ábrán látható összeállításban lehetőség van a szivattyú térfogatáramának  $Q$  (cm<sup>3</sup>/s) változtatására, valamint a mikrohullámú készülékbe helyezhető üvegszirálók cseréjére, ezáltal a spirálók hosszának  $l_{spirál}$  (cm) megválasztására. Mindkét megoldással a folyadék üregrezonátorban való tartózkodási idejét  $t_r$  (s) tudjuk változtatni, amely a melegítés mértékét befolyásolja.



**7. sz. ábra Spirál betét a mikrohullámú készülékben**

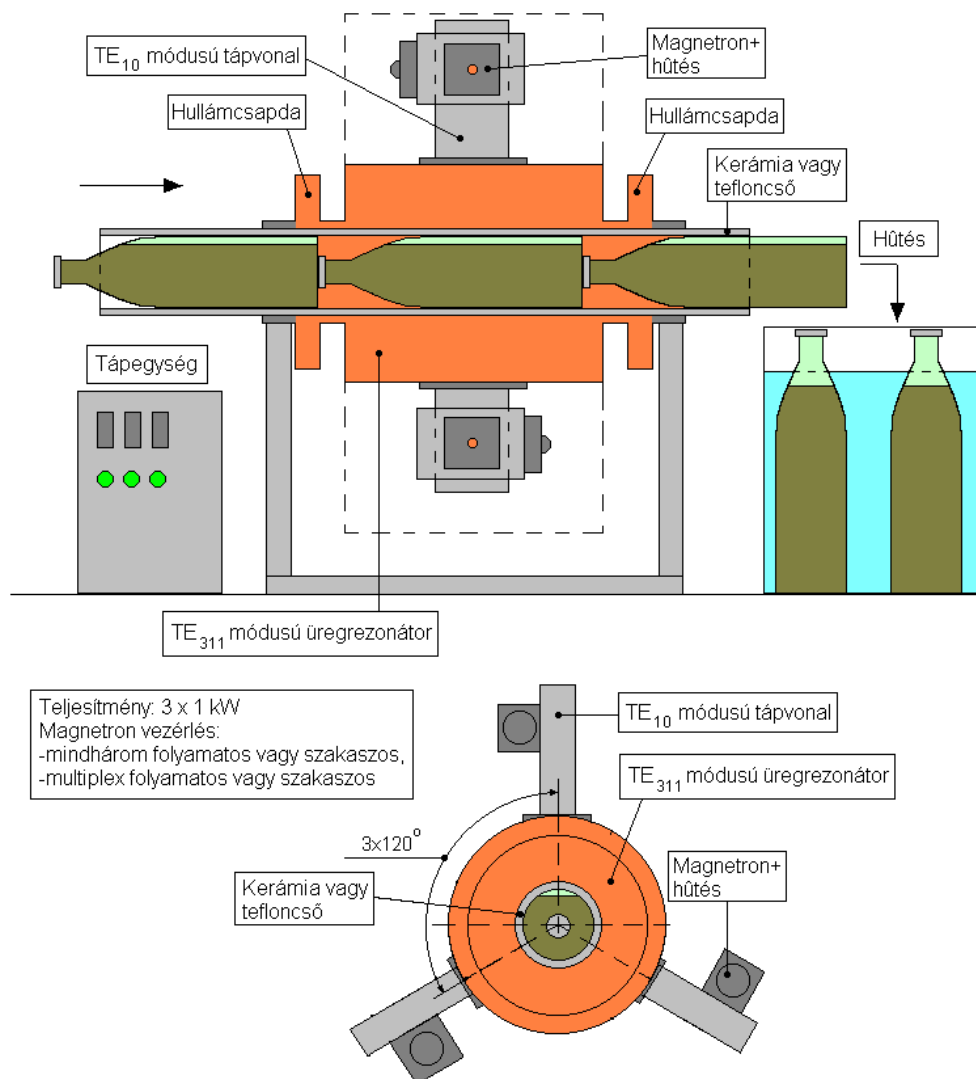
A mikrohullámú hőkezelések hatásosságát **beltartalmi, mikrobiológiai és érzékszervi** vizsgálatokkal ellenőriztük. Sör esetében elvégeztettük a Coliform és Pseudomonas aeruginosa vizsgálatokat, valamint ellenőriztettük az alkoholtartalmat. Tejen végzett hőkezelés hatásait pH-érték vizsgálattal, a csíraszám pusztulással, foszfatáz és a peroxidáz próbával, illetve a tejsír, tejfehérje, tejcukor és a zsírintes szárazanyag tartalom (SNF) mérésével ellenőriztük. Sem az érzékszervi vizsgálatok, sem a mikrobiológiai és beltartalmi vizsgálatok nem mutattak különbséget az általunk pasztörözött termékek és a hagyományosan hőkezelt termékek között. A vizsgálatokat az Állategészségügyi és Élelmiszer Ellenőrző Állomás (ÁÉÉÁ) végezte Gödöllőn.

A vizsgálatok eredményeként megállapítható, hogy a **spirálcöves mikrohullámú hőkezelő berendezés alkalmas pasztörözésre**. Továbbfejlesztett változata mind minőségi mind energetikai szempontból versenyképes lehet a hagyományos módszerekkel.

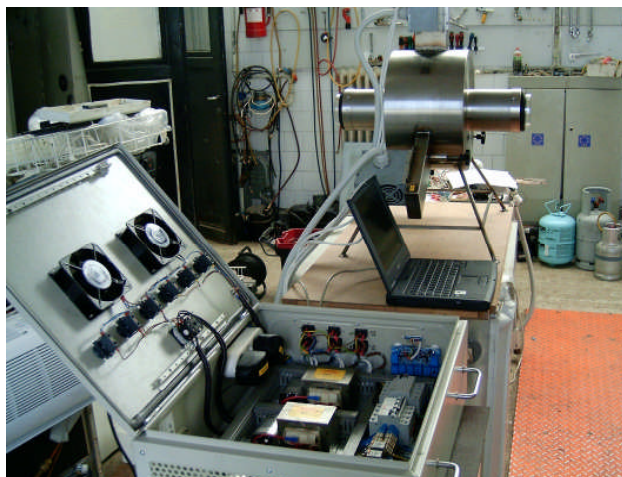
A kutatómunka keretében kísérletet tettünk **palackozott sör** mikrohullámú hőkezelésére alkalmas folyamatos üzemű berendezés kifejlesztésére. A berendezésben a sörös palack csőtápvonalon halad keresztül, amelynek energiaellátását három, egymástól 120°-ra elhelyezett magnetron biztosítja. A kifejlesztett változat háttérsugárzása azonban túllépi a munkavédelmi szempontból megengedett értéket, ezért jelenlegi kialakításában vizsgálatok végzésére nem alkalmas. A berendezés elvi felépítését a 8. ábra mutatja, a megvalósított, de még biztonsági okokból átalakítás alatt lévő berendezést a 9. ábrán tekinthetjük meg.

A kutatás befejező fázisában tojáslé mikrohullámú pasztörözésével kapcsolatos vizsgálatokba kezdünk, ezek eredménye és további fejlesztése folyamatban van.





8. ábra palackozott sör mikrohullámú hőkezelésére alkalmas folyamatos üzemű berendezés elvi vázlata



9. ábra palackozott sör mikrohullámú hőkezelésére alkalmas folyamatos üzemű berendezés