



TENGERJÁRÓ HAJÓKON KELETKEZŐ SZENNYVÍZISZAP SZÁRÍTÁSÁRA SZOLGÁLÓ, MODULRENDSZERŰ BERENDEZÉS BEMUTATÁSA

PRESENTATION OF A MODULAR SYSTEM FOR DRYING SEWAGE SLUDGE FROM SEAGOING VESSELS

Kári-Horváth Attila,¹ Lantos Zsolt,² Kristóf Gábor³

¹ Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Műszaki Intézet, Anyagtudományi és Gépipari Folyamatok Tanszék. Gödöllő, Magyarország, kari-horvath.attila@uni-mate.hu

² Gyémánt-Pirazol Kft., Debrecen, Magyarország, zsolt.lantos@gyemantpirazol.hu

³ Gyémánt-Pirazol Kft., Debrecen, Magyarország, gabor.kristof@gyemantpirazol.hu

Abstract

Nowadays, people who take a cruise don't realize that they are putting both the environment and human health at risk significantly more than if they had chosen to travel by any other means. The large quantities of fuel burned during the voyage pollute the atmosphere and thus endanger health, and the (hazardous) waste and sewage of all kinds that are generated on board every day cannot be left on board. A ship carrying about 3000 passengers produces on average about 80 m³ of waste water per day! Newer ships are often capable of carrying a minimum of 8,000 passengers, so the amount of waste water they produce is obviously higher. Just look at these huge floating cities of 10-12 stories. The amount of waste generated on board, being far greater, must be managed in an environmentally friendly way in accordance with ever stricter standards. These factors justify that companies in the industry are constantly working to develop new technologies and solutions, not only with the building of new ships, but also the modernization of older ones.

Keywords: *sewage sludge, waste recovery, MARPOL Convention, modular system.*

Összefoglalás

Manapság, aki valamilyen tengeri hajóúton részt vesz, nem is gondol rá, hogy a legkevesebb egyhetes hajóútjával jobban veszélyezteti a környezetet és az emberi egészséget, mint ha az utazás más módját választotta volna. Az út során elégetett nagy mennyiségű üzemanyag szennyezi a légkört, és ezzel veszélyezteti az egészséget, valamint a hajókon naponta keletkező mindenféle (veszélyes) hulladék, szennyvíz sem maradhat a fedélzeten. Egy kb. 3000 utast szállító hajó átlag közel 80 m³ szennyvizet termel, naponta! Az újabb hajók gyakran minimum 8000 fő utas szállítására alkalmasak, ezért szennyvíztermelésük napi mennyisége ennél nyilvánvalóan tetemesebb. Ehhez elég csak látni ezeket a 10-12 emeletes, hatalmas, úszó városokat. A hajók fedélzetén keletkező hulladékmennyiség is sokszorosára nő, melynek környezetbarát kezelését az egyre szigorodó előírásoknak megfelelően meg kell oldani. Ezek a tényezők indokolják, hogy az iparágban tevékenykedő vállalatok folyamatosan dolgozzanak az új technológiák és megoldások kifejlesztésén. Nemcsak az új építésű hajók miatt, de a régiek korszerűsítésének okán is.

Kulcsszavak: *szennyvíziszap, hulladékhasznosítás, MARPOL-egyezmény, modulrendszer.*

1. Hulladékkezelési lehetőségek

A hulladékhierarchy az Európai Unió által meghatározott fontossági sorrend, mely a hulladékok kezelésének lehetőségeit mutatja, a legkedvezőbb megoldásoktól haladva a kedvezőtlenebb lehetőségek felé. A hulladékhierarchia rendszere segít felállítani a hulladékgazdálkodási tevékenységek közötti fontossági sorrendet, ami alapján – bizonyos kivételektől eltekintve – a legjobb megoldás a megelőzés. Azonban ha ez bizonyos körülmények között nem lehetséges, akkor a lehető legtöbb hulladék esetében kell alkalmazni az újrahasználatot, valamint az újrafeldolgozást, és csak legvégső esetben lehet a hulladékot elégetni vagy lerakni [1].

Első körben a megelőzésre és az újbóli felhasználásra összpontosít, ezzel „második esélyt” adva a termékeknek. Ezt követi az újrahasznosítás és komposztálás, illetve a hulladékégetés, amellyel elektromos energia nyerhető. A környezet és az egészségünk számára is legkárosabb megoldás a hulladéklerakás, ugyanakkor ez a legolcsóbb [2]. A hasznosítás tehát a hulladék olyan módon történő felhasználását jelenti, amely a nyersanyagok és erőforrások cseréjét eredményezi. Ily módon a hulladék értékesíthető, gazdaságilag előnyös másodlagos nyersanyag vagy energiahordozó, amely pozitív társadalmi megítéléssel rendelkezik, és így jelentősen hozzájárul a környezetvédelmi célok eléréséhez. A hasznosításnak két fő típusa ismert: az anyagviesszanyerés és az energia-visszanyerés. Az alkotóelemek hasznosítását, újrafeldolgozását és regenerálását többek között az anyagában való hasznosításnak kell tekinteni. A nemzetközi gyakorlatban az energiatermelésre alkalmas alkatrészeket RDF-nek (Refuse-Derived Fuel) vagy SRF-nek (Solid Recovered Fuels), azaz hulladékból származó üzemanyagnak vagy alternatív tüzelőanyagnak nevezik

2. A MARPOL egyezmény

A **MARPOL 1973/1978 Egyezmény** (*International Convention for the Prevention of Pollution from Ships*) célja a tengeri környezet védelme és a tengeri hajók okozta szennyezések megakadályozása. A nemzetközi kereskedelmi forgalomban résztvevő valamennyi 500 GT-nél nagyobb tengeri hajóra kötelezően vonatkozó egyezmény a következő potenciális veszélyek és szennyezésforrások kezelésére tér ki. A mi szempontunkból az Annex IV. előírásai a fontosak, ezért ezt részletezzük.

Annex I: Az olajszennyeződések megelőzésére vonatkozó előírások

Annex II: Ömlesztetett, folyékony halmazállapotú, mérgező hatású anyagok okozta szennyeződések megelőzésére vonatkozó előírások

Annex III: Tengeri szállítás útján továbbított csomagolt, veszélyes anyagok okozta szennyeződések megelőzésére vonatkozó előírások

Annex IV: A hajókon keletkező szennyvizek okozta szennyeződések megelőzésére vonatkozó előírások

Annex V: Hajókon keletkező háztartási és egyéb hulladékok okozta szennyeződések megelőzésére vonatkozó előírások

Annex VI: Hajók okozta légszennyezés megelőzésére vonatkozó előírások

2.1. Annex IV.

A szennyvíz:

- a) vízelvezető és egyéb hulladékok bármilyen típusú WC-ből, piszoárból és WC-süllyesztőből;
- b) vízelvezetés az orvosi helyiségektől (gyógyszertár, betegből stb.) az ilyen helyiségekben található mosdókon, mosdókáddal és dudorokkal;
- c) elvezetés élő állatokat tartalmazó helyekből vagy
- d) egyéb szennyvíz, ha a fent lefolytatott csatornákkal keverik.

Alkalmazás

E melléklet rendelkezéseit kell alkalmazni:

- a) i. új, 200 tonna bruttó űrtartalmú hajók;
- ii. új, 200 tonna alatti bruttó űrtartalmú hajók, amelyek tanúsítása szerint több mint 10 személy szállítására alkalmas;
- iii. új hajók, amelyek nem rendelkeznek mért bruttó űrtartalommal, és 10-nél több személy szállítására vannak tanúsítva;
- b) i. meglévő, legalább 200 tonna bruttó űrtartalmú hajók, 10 évvel e melléklet hatálybalépése után;
- ii. új, 200 tonna alatti bruttó űrtartalmú hajók, amelyek tanúsítása szerint több mint 10 személy szállítására alkalmas;
- iii. új hajók, amelyek nem rendelkeznek mért bruttó űrtartalommal és 10-nél több személy szállítására vannak tanúsítva.

3. A termikus szárítás

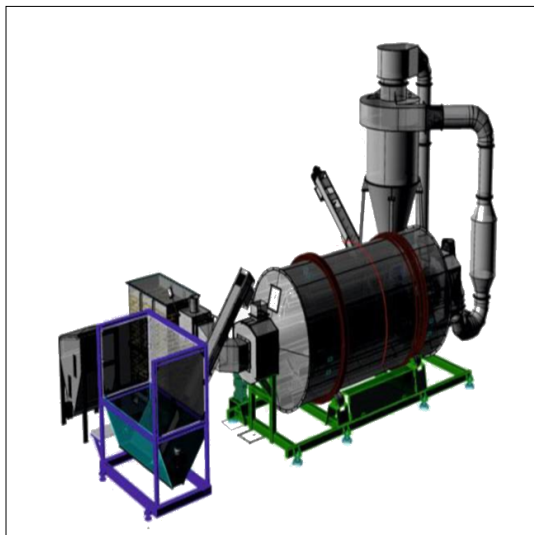
A szárítás alapvetően a folyadék szilárd anyagból történő bepárlásával történő eltávolításának

jelensége. A folyadék és a szilárd anyag elválasztásának mechanikai módszere nem számít szárításnak. A szárítási folyamatok alapelvei és jelenségei általában függetlenek a felhasznált energia típusától. A szárítás során az energiafogyasztás jelentős része folyékony víz bepárlásához (2258 kJ/kg $101,3 \text{ kPa}$ nyomáson) kell. A szilárd anyag a vizet különböző formákban tartalmazhatja, például szabad nedvességet vagy kötött formát, amely közvetlenül befolyásolja a száradási sebességet [3].

A víztelenítési opciót hőszárításnak nevezzük, amikor egy külső kiegészítő energiaforrás lehetővé teszi a hulladék melegítését. A termikus szárítás során a nedves szilárd anyagok esetében jelentős mennyiségű hőenergiát kell közölni a víz elpárologtatásához, valamint a szilárd anyagok és a megmaradt víz felmelegítéséhez. A gravitációs konvekciós vagy a kényszerített légkonvekciós szárítókemencék nagyobb fokú egyenletességet, hőmérséklet-szabályozást, gyors szárítási képességet biztosíthatnak. A kemencében történő szárítás hatékony dehidratációs eljárást és rövid száradási időt eredményezhet, maximális hőmérséklete $250\text{--}350^\circ \text{C}$. [4]

A víztelenítési lehetőséget termikus szárításnak nevezzük, amikor egy külső, kiegészítő energiaforrás lehetővé teszi a hulladék melegítését. A szárítás folyamata általában a szennyvízmaradék szilárd anyagaiból származó víz elpárologtatására szolgál. A szárítórendszer a szárítón kívül általában anyagmozgató és -tároló berendezésekből, hőtermelő és -átadó berendezésekből, légmozgató és -elosztó berendezésekből, kibocsátás-csökkentő berendezésekből és kiegészítő rendszerekből áll. Ezek a berendezésszettek sokféle formát ölthetnek. Közvetlen hőszárítóknak a forró levegő/gáz egy edényen keresztül áramlik, és közvetlenül érintkezik nedves szilárd részecskéikkel. A forró levegő és a hideg nedves sűrítmény közötti érintkezés lehetővé teszi a hőenergia átadását, ami a nedves szárítandó anyag hőmérsékletének növekedését és a víz elpárolgását okozza. A forró levegőt/gázt szinte bármely hőforrás elő tudja állítani, de leggyakrabban gázt vagy olajat égető kemence állítja elő. A közvetlen szárítóberendezésekre példaként említhetjük a forgódobos szárítókat (1. ábra). [5, 6, 7]

Az ilyen típusú rendszerekben a hőellátás tüzelőanyag-égető kemencén keresztül történik, amely közvetlenül a szárító dobjába vezet. A szárított anyagot elválasztják a meleg kipufogógáztól, majd szitálják és feldolgozzák, vagy visszavezetik a szárítóba, vagy pedig tárolósilókba



1. ábra. Forgódobos szárító elvi ábrája [8]

vezetik. Az elszívott levegőt/gázt lehűtik, és egy részét visszavezetik a szárítóba. A levegő/gáz fennmaradó részét levegőszennyezés-ellenőrző berendezésekben kezelik, majd a légkörbe vezetik. A szárító kipufogógázának visszavezetése három fontos feladatot lát el. Először is, növeli a szárítórendszer teljes hőhatékonyságát, másodszor minimalizálja a kipufogógáz térfogatát, amely levegőszennyezés-szabályozást igényel, harmadszor pedig biztonsági szerepet biztosít a rendszer oxigénkoncentrációjának korlátozásával, amely csökkenti a robbanások kockázatát. A dobosárítók levegőszennyezés-szabályozási folyamatai általában további részecskék eltávolításából állnak, amelyet regeneratív termikus oxidáció követ, a szagok és az illékony szerves vegyületek ártalmatlanítása érdekében. [5, 9, 10]

A közvetlen szárítási rendszerek jelentősen eltérnek a nedves és a szárított bioszilárd anyagok feldolgozásához használt berendezés típusától. Még az 1. ábrán látható rotációs dobrendszerek is jelentősen eltérnek az általános elrendezéstől és a használt felszereléstől. A közvetlen szárítógépek egy másik típusa, amelyet egyre nagyobb mértékben használnak az Egyesült Államokban és Európában, az övszáritó. Ez általában alacsonyabb hőmérsékletű rendszer, mint a forgódobos rendszer. A hőellátás általában tüzelőanyag-égető kemence, de a rotációs dobrendszerrel ellentétben a rendszer hőjét hőfolyadékokra, meleg vízre vagy füstgázra cseréli, levegő-hőcserélőre, ahelyett, hogy a kemence közvetlenül a szárítószekrénybe merülne. [7]

4. A modulrendszerű kialakítás elve

A jelenlegi nemzetközi versennyel jellemzett hajógyártási piacon a siker azon alapul, hogy mind versenyképes árakat, mind rövid szállítási időket kínálnak. Ez ahhoz vezetett, hogy az acélszerkezet, a gépek és a gyártási folyamat optimalizálása tekintetében a költségek csökkentésére összpontosítottak. Mivel azonban az acélszerkezet-gyártás és az összeszerelési technikák továbbfejlesztésének lehetőségei egyre csökkennek, a hajógyártóipar más lehetőségeket is feltárt az átfutási idő és a költségek csökkentése érdekében. A közelmúltban a modularizáció egyre népszerűbb módszer a gyártási költségek csökkentésére. [11]

A modularitás olyan megközelítés, amely a rendszert kisebb részekre, más néven modulokra osztja fel, amelyeket önállóan lehet létrehozni és összeszerelni a végtermék létrehozásához. A moduláris gyártást széles körben használják az autóiparban, a repülőgépiparban és más iparágakban, többször bizonyítva, hogy időt és pénzt takarítanak meg ezzel a módszerrel. [11] A moduláris gyártás jellegzetes jellemzői, mint például a szerelősorok használata, a magas szintű előre-gyártás és a kiszervezés lehetővé teszik a minőség jelentős javítását, miközben csökkentik a költségeket és a gyártási átfutási időt. A mi esetünkben a modularitást azt jelenti, hogy az általunk tervezett és elkészített berendezés elfér 2 darab konténerben (2. ábra). A Vázszerkezet I. megnevezésű alsó egység egy növelt magasságú 20' HC konténer (H:6060 × SZ:2440 × M:2900 mm), míg a felső, Vázszerkezet II. egység egy normál magasságú 20'DC (H:6060 × SZ:2440 × M:2600 mm)

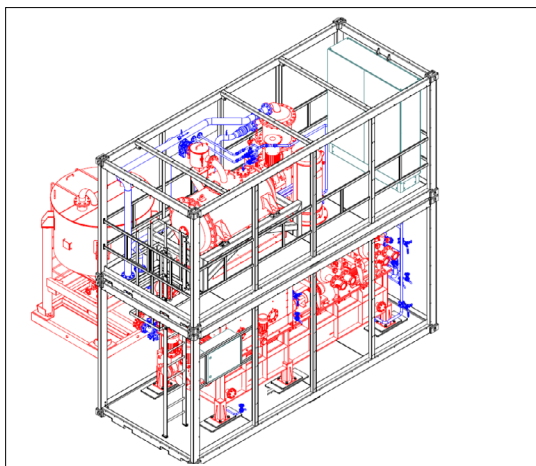
tengeri konténer méreteivel egyezik meg. Az egységek emelését a gyárral azonos kialakításúra tervezett és kivitelezett sarokelemeken keresztül lehet elvégezni.

5. A szárítóberendezés megvalósítási folyamata

A berendezésünk egy, több részegységből összeállított szárít berendezés, melynek van egy ún. előszárító része és van egy ún. főszárító része. Előbbi feladata, hogy a kezelendő anyagot (~80 % nedvességtartalmú) kis rétegvastagságban felhordva előmelegítse, ill. előszárítsa. Utóbbi feladata, hogy az anyagot a kívánt $\leq 20\%$ nedvességtartalomig szárítsa. Az előszárítás (aprítással egybekötött adagolással, fűtött, hengeres dobok felületére felvitt, vékony rétegekben történik, kb. 5,7 m² össz. előszárító felülettel). A főszárítás (a fűtött vázban, két párhuzamos tengelyű, fűtött duplafalú egyedi levelezésű csigával történik, kb. 25 m² össz. főszárító fűtött felülettel). A berendezés kapacitása 800–1000 kg/h, maximális energiáigénye 110 kW/h. A korábbi hajós tapasztalatok szerinti ún. „ragacsos fázist” úgy lekezelve, hogy a szerkezeti kialakításnak köszönhetően az összecsomósodó anyagot folyamatosan nyírva, aprózva is azt, miközben szállítja is.

A vázszerkezeti elemek szállítása külön-külön történik, az ehhez szükséges szét-, ill. összeszerelő gépészeti és elektromos munkálatok elvégzésével. Függőleges irányban a felső vázszerkezet teljes tömegével ráterhelődik az alsóra, egyéb rögzítő kapcsolat (pl. csavarkötés) nem került kialakításra. Szárazföldi helyszínen történő beüzemeléskor ez elegendő, hajón történő elhelyezéskor további rögzítőelemek alkalmazása indokolt lehet. Mindkét vázszerkezeti részegységhez legyártásra kerültek szendvicspaneles betétekkel ellátott, oldalfali és tetőkeretelemek, melyek csavarkötésekkel szerelhetők és saját kis emelőfülekkel ellátottak, a mozgásuk megkönnyítésére.

A szendvicspaneles betétek egyrészt a szállításkori állagmegóvást biztosítják. A felső vázszerkezeti konténer teljes egészében bepanelizálható az üzemi működés alatt is, ha a belső üzemi hőmérséklet ezt lehetővé teszi. Az alsó konténer esetében a hosszú oldali oldalfalpanelek (minimum az egyik oldalon) és a távolabbi, rövid oldali panelek leszerelése üzem közben indokolt. Kültéri elhelyezés esetére (ha esetlegesen szükség van rá) az egyik hosszú oldalra az alábbi kép szerinti esővéto lemezek kerültek megtervezésre a vázszerkezetekhez. Az alsó konténernek a 3. ábra szerinti



2. ábra. A vázszerkezet elvi ábrája



3. ábra. A személybejáró keretelem

rövidebb oldalán személybejáró ajtós keretelem került alkalmazásra. Ezen keresztül felszerelt panelek esetén is biztosított a vázszerkezetbe történő bejutás. A felső Vázszerkezet II. egységbe az ajtón belül elhelyezett feljárólétra használatával lehet feljutni.

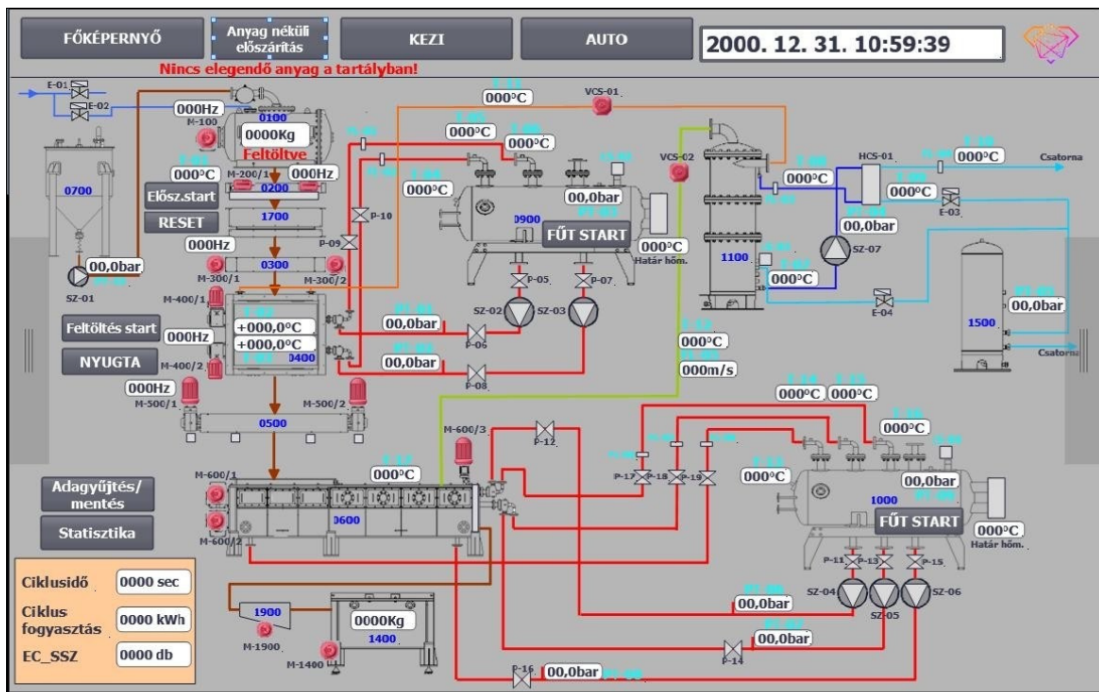
Először az előszárítót terveztük tesztelni, ezért az ehhez kapcsolódó részegységek legyártása kezdődött a konténer-vázszerkezetekkel párhuzamo-

san. Ezek voltak: a siló, a tartály egyedi keverővel, az aprító-adagoló, a töltő-előkészítő, az előszárító dob, a késes anyagválasztó és az olajtartályok. Közben zajlott a vezérlés, valamint a gyenge- és erősáramú rendszerek tervezése. Az előszárító egység tesztjei már a kiépített villamos és vezérlőrendszer működtetése mellett történtek (4. ábra).

Amikor a fenti részegységek elkészültek, be is lettek építve a konténerekbe. Így pl. a két olajtartály is, aminek az volt az érdekessége, hogy a végleges elrendezésben ezek a főszárító reaktor egység tetején egy lemeztartón helyezkednek el.

Minden úgy lett megtervezve, hogy az előszárító tesztet követően az egyes részegységek megemelése mellett a szárító „becsúszatható” legyen a helyére. Az előszárító tesztek és az ahhoz szükséges egységek beszerelhetőségét pedig úgy biztosítottuk, hogy a főszárítóról készült egy „modla”, amely tartotta a főszárítóra tervezett elemeket. Az előszárító tesztekkel párhuzamosan zajlott a főszárító gyártása, ahol több nehézséggel is szembe kellett nézni:

- mivel mindkét csigát belülről fűthetőre terveztük, a csigalevelek gyártásánál a hegesztés okozta deformációt minimálisra kellett szorítani
- a két csiga egyirányú forgásából adódóan további illesztési kihívásokkal álltunk szembe



4. ábra. A vezérlőrendszer elvi ábrája (részlet)

–első nekifutásra rajz szerint készült el mindkét csiga, de azzal szembesültünk, hogy nem „fordulnak el egymásban”, ezért az egyik csigát újra kellett gyártani, a másik, rajz szerint készült párjához igazítva

–a csigákat forgató hajtóművek együtt forgását finomra kellett hangolni a vezérlésükkel együtt, mely csak sokadik nekifutásra sikerült.

Ezen problémák megoldása után, a gyártást a gépészeti összeszerelési fázis követte, amit a váz-szerkezetegységbe történő telepítésként valósítottunk meg, az optimális helykihasználás biztosítása érdekében. Közben folytatódott a berendezés tesztelése, megtörtént az üzembe helyezés, az engedélyeztetési folyamat elindítása, valamint a használati mintaahtalom megszerzésére irányuló dokumentáció elkészítése. A tesztelési lépésekről tesztelési protokollumok (feljegyzések/jegyzőkönyvek) készültek, melyekben pontosan meghatározásra kerültek az elvégzendő és lepróbálandó funkcióteszt, gépészeti, mechanikus és elektromos működési próbák is. A tesztek jó eredménnyel zárultak, a berendezés beszerelésre került, működése azóta is kifogástalan. Az összeállított berendezés az 5. ábrán látható.

6. Összefoglalás

A szárítás folyamata általában a szennyvíz maradék szilárd anyagaiból származó víz elpárologtatására szolgál. A szárítórendszer a szárítón kívül általában anyagmozgató és -tároló berendezésekből, hőtermelő és hő adó berendezésekből, légmozgató és elosztóberendezésekből, kibocsátáscsökkentő berendezésekből és kiegészítő rendszerekből áll. Ezek a berendezésrendszerek sokféle formát ölthetnek, az egyik az általunk tervezett és kivitelezett szárítóberendezés, amely az Oasis of the Seas hajón üzemel. A berendezésünk egy több részegységből összeállított szárítóberendezés, melynek van egy ún. előszárító része, és van egy ún. főszárító része. Előbbi feladata, hogy a kezelendő anyagot (~ 80 % nedvességtartalmú) kis rétegvastagságban felhordva előmelegítse, ill. előszárítsa. Utóbbi feladata, hogy az anyagot a kívánt ~20% nedvességtartalomig szárítsa. „A 2019-1.1.1-PIACI-KFI-2019-00320 számú projekt a Kulturális és Innovációs Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a 2019-1.1.1-PIACI-KFI pályázati program finanszírozásában valósult meg.”

Szakirodalmi hivatkozások

[1] Kaszáné Kiss M.: *Hulladékgazdálkodás*. Debreceni Egyetem, 2003.



5. ábra. Az összeállított berendezés

- [2] Szira Z. : *A települési szilárd hulladék keletkezésének összefüggés-vizsgálata, valamint az önkormányzatok által biztosított hulladékkezelési közszolgáltatások elemzése Pest megyében*. PhD-értekezés. Gödöllő: Szent István Egyetem, 2010.
- [3] C.L. Hii, S.V. Jangam, S.P. Ong, A.S. Mujumdar: *Solar Drying: Fundamentals. Applications and Innovations*, 2012.
- [4] Yuan J, Zhang D, Li Y. , et al.: *Effects of Adding Bulking Agents on IO-stabilization and Drying of Municipal Solid Waste*. Waste Manage., 62. (2017) 52–60.
- [5] Water Environment Federation. Residuals and Biosolids Committee Bioenergy Technology Subcommittee. Fact Sheet: Drying of wastewater solids. January 2014. [Internet]
- [6] Dhaundiyal A., Toth L. : *Thermo-Economic Assessment of a Bench-Scale Pyrolysis Unit through a Process Simulator*. Biofuels Bioproducts & Biorefining-Biofpr, 17. (2023) 1681–1697.
- [7] Virág S., Montvajszki M., Korzenszky: *Termikus hulladékkezelési eljárások*. Szarvas, 2015. TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0015 projekt: Alapkutatás fejlesztés a Szent István Egyetem Pirolyziz Technológia Központjában.
- [8] <https://www.limehungary.hu/dobszaritok/>
- [9] Lányi K., Molnár E., Vanó I., Korzenszky P.: *Looking Behind The Process of Pyrolysis in Waste Management: Questions on The Composition and Quality of End-Product and Their Answers by Means of Analytical Chemistry*. Hungarian Agricultural Engineering (2014) 25–28.
- [10] Korzenszky P., Lányi K., Simándi P.: *Test Results of a Pyrolysis Pilot Plant in Hungary*. Hungarian Agricultural Engineering, 28. (2015) 48–52.
- [11] Eskildsen K.: *Modularization*. Aalborg University Copenhagen, 2011.