



**PAST HARORATDA QURITISH UCHUN OCHIQ MANBALI
VAKUUM PECHNI LOYIHALASH VA UNING QO‘LLANILISHI: PET VA
BIOMATERIALlar MISOLIDA**

Yuldoshov Maqsudbek Nuraddinovich

O‘zbekiston milliy metrologiya instituti

davlat muassassasi Xorazm filiali bo‘lim boshlig‘i

G‘aibnazarov Boburjon Usmonjon o‘g‘li

Toshkent davlat texnika universiteti PhD talabasi

Annotatsiya: Ushbu tadqiqotda kichik hajmli, ochiq manbali vakuum pechni loyihalash va uning quritish samaradorligi sinovdan o‘tkazildi. Pech arzon narxlardagi tayyor qismlar va 3D bosib chiqarish texnologiyasi yordamida ishlab chiqarildi. Quritish tezligi va samaradorligi qayta ishlangan polietilen tereftalat (rPET) va biomateriallar (tereftalat chiqindilarini biologik qayta ishlash uchun bakterial konsorsium) misolida baholandi. Natijalar vakuum pechni kichik hajmdagi namunalar uchun issiq havoli quritgichga qaraganda tezroq va samarali ekanligini ko‘rsatdi. Tizim tijoriy vakuum quritgichlar narxining 20% dan kamrog‘iga ishlab chiqarilishi mumkin, bu esa uni laboratoriya va sanoat qo‘llanilishi uchun iqtisodiy yechimga aylantiradi.

Kalit so‘zlar: quritish, materiallarni qayta ishlash, vakuum pech, kichik hajm, laboratoriya jihozlari, ochiq manba, raqamli ishlab chiqarish, dehidratsiya

Аннотация: В данном исследовании представлено проектирование и оценка эффективности работы малогабаритной вакуумной печи с открытым исходным кодом для сушки при низких температурах. Печь была изготовлена с использованием недорогих готовых компонентов и технологии 3D-печати. Скорость и эффективность сушки тестировались на переработанном полиэтилентерефталате (rPET) и биоматериалах (бактериальный консорциум для биологической переработки отходов терефталата). Результаты показали, что вакуумная печь превосходит сушилку с горячим



воздухом по скорости и эффективности при сушке небольших образцов. Система может быть произведена менее чем за 20% стоимости коммерческих вакуумных сушилок, что делает её экономичным решением для лабораторного и промышленного применения.

Ключевые слова: Ключевые слова: сушка, переработка материалов, вакуумная печь, малый объём, лабораторное оборудование, открытый источник, цифровое производство, дегидратация

Annotation: This study presents the design and performance evaluation of a small-scale, open-source vacuum oven for low-temperature drying. Constructed using low-cost off-the-shelf components and 3D printing technology, the oven's drying speed and efficiency were tested with recycled polyethylene terephthalate (rPET) and biomaterials (a bacterial consortium for biological recycling of terephthalate waste). Results demonstrate that the vacuum oven outperforms a hot air dehydrator in drying small samples more quickly and efficiently. The system can be produced at less than 20% of the cost of commercial vacuum dryers, making it an economical solution for laboratory and industrial applications.

Keywords: drying, material recycling, vacuum oven, small scale, laboratory equipment, open source, digital manufacturing, dehydration

Materiallardan suvni olib tashlash jarayoni, ya'ni dehidratsiya yoki quritish, turli sohalarda muhim ahamiyatga ega. Polimerlar suv bilan aloqa qilganda gidroliz deb ataladigan kimyoviy parchalanishga uchraydi, bu esa plastik ishlab chiqarishda suvni olib tashlashni zarur qiladi. Qayta ishlangan polietilen tereftalat (rPET) kabi materiallar, ayniqsa, namlikka sezgir bo'lib, quritishsiz 3D bosib chiqarish yoki qadoqlash uchun mos kelmaydi. Shu bilan birga, biomassa yoqilg'ilarini yoqishdan oldin quritish energiya samaradorligini oshiradi, mikrobiologiyada esa mikroorganizmlarni saqlash uchun quritish qo'llaniladi. An'anaviy issiq havoli quritish usullari mavjud bo'lsa-da, ular namlik miqdori yuqori bo'lgan materiallarni to'liq qurita olmaydi va yuqori haroratlarda sezgir materiallarga zarar yetkazishi mumkin. Vakuum quritish esa suvning qaynash haroratini pasaytirib, atmosferadagi namlik gradientini oshiradi, bu esa past haroratlarda samarali quritish imkonini



beradi. Biroq, kichik hajmli vakuum quritish qimmat laboratoriya jihozlari talab qilishi sababli cheklangan. Ushbu tadqiqotda arzon, ochiq manbali vakuum pech loyihasi taqdim etiladi. Ushbu pech rPET va biomateriallarni past haroratda quritish uchun sinovdan o'tkazildi, bu materiallarning termik degradatsiyasini oldini oladi va qayta ishlash jarayonlarini qo'llab-quvvatlaydi. Maqolaning maqsadi ushbu pechni loyihalash jarayoni, sinov natijalari va uning amaliy qo'llanilishini ko'rsatishdan iborat.

Ushbu tadqiqotning **asosiy maqsadi** kichik hajmli, arzon narxlardagi ochiq manbali vakuum pechni loyihalash va uning quritish samaradorligini sinovdan o'tkazishdan iborat. Pech qayta ishlangan polietilen tereftalat (rPET) va biomateriallarni (tereftalat chiqindilarini biologik qayta ishlash uchun mo'ljallangan bakterial konsorsium) past haroratda quritishda qo'llanilishi ko'zda tutilgan. Tadqiqotda pechni tijoriy issiq havoli quritgich bilan taqqoslash orqali uning tezligi, energiya sarfi va umumiy samaradorligini baholash rejalashtirildi. Ushbu loyiha nafaqat laboratoriya sharoitida qo'llanilishi mumkin bo'lgan iqtisodiy yechimni taqdim etishga, balki ochiq manba tamoyillari asosida raqamli ishlab chiqarish imkoniyatlarini kengaytirishga qaratilgan.

Maqsadga erishish uchun quyidagi vazifalar belgilandi:

1. Standart qismlar va 3D bosib chiqarish yordamida vakuum pechni loyihalash va yig'ish.
2. Pechni rPET va biomateriallar misolida sinovdan o'tkazish, quritish tezligi va samaradorligini aniqlash.
3. Energiya sarfini o'lchash va tijoriy quritgichlar bilan solishtirish.
4. Pechni iqtisodiy jihatdan tahlil qilish va uning tijoriy muqobillarga nisbatan afzalliklarini ko'rsatish.

Vakuum pechni loyihalashda ikki asosiy komponent – vakuum kamerasi va isitish elementi ishlatildi. Ushbu qismlar ochiq manbali texnologiyalar va arzon narxlardagi tayyor mahsulotlardan foydalangan holda birlashtirildi.

2.1. Loyiha

2.1.1. Vakuum tizimi.



Vakuum kamerasi sifatida diametri 200 mm va balandligi 200 mm bo'lgan tayyor vakuum idishi tanlandi. Bu idish 98 kPa (29 inHg) gacha bo'lgan vakuum bosimiga bardosh bera oladi. Vakuum hosil qilish uchun havo ejektori ishlatildi. Havo ejektori siqilgan havo yordamida vakuum hosil qiladi va suv yoki boshqa moddalar bilan ifloslanish xavfisiz ishlaydi. Ejektor 550 kPa (80 psig) bosimli havo kompressori bilan boshqarildi. Vakuum bosimi inHg birligida, mutlaq bosim esa kPa birligida o'lchandi. Tizimning ishlashi vakuum o'lchagich yordamida nazorat qilindi.

2.1.2. Issiqlik nazorati.

Issiqlik nazorati tizimi Arduino mikrokontrolleri asosida ishlab chiqildi. Isitish elementi sifatida 100x125 mm o'lchamdagi silikon isitgich tanlandi. Haroratni o'lchash uchun NTC termistori ishlatildi, uning qarshiligi haroratga qarab o'zgaradi. Termistorning haroratni aniqligi Steinhart-Hart tenglamasi yordamida hisoblandi:

$$T=1/(k_a+k_b\cdot\log(R_t)+k_c\cdot\log(R_t)^3)$$

Bu yerda R_t – termistor qarshiligi, k_a, k_b, k_c – kalibrlash koeffitsientlari. Harorat relay orqali boshqarildi, bu esa kameradagi haroratni barqaror ushlab turdi.

2.2. Ishlab chiqarish va yig'ish.

Pech 3D bosib chiqarilgan qismlar (masalan, ejektor ulagichlari) va tayyor mahsulotlardan yig'ildi. 3D bosib chiqarish uchun PLA filamentidan foydalanildi, qismlar FreeCAD va OpenSCAD dasturlarida loyihalashtirildi. Izolyatsiya uchun Reflectix materiali qo'llanildi, bu esa issiqlik yo'qotishini kamaytirdi. Yig'ish jarayoni quyidagicha amalga oshirildi:

- 1. Vakuum kamerasiga izolyatsiya o'rnatildi.*
- 2. Havo ejektori ulagichlari 3D printerda chop etilib, kameraga biriktirildi.*
- 3. Isitish elementi kameraning tagiga yopishtirildi, termistor esa uning haroratini o'lchash uchun joylashtirildi.*
- 4. Arduino va relay tizimi ulandi, dasturiy ta'minot yuklandi.*

2.3. Sinov materiallari.

Sinov uchun ikki turdagi material tanlandi:

rPET: Suv idishlaridan qayta ishlangan PET parchalari. Bu material namlikka sezgir bo'lib, 3D bosib chiqarish uchun quruq bo'lishi talab qilinadi.



Biomateriallar: Tereftalatni yagona uglerod manbai sifatida ishlatadigan bakterial konsorsium. Bu mikroorganizmlar biomassani oziq-ovqatga aylantirish uchun quritildi.

Vakuum **pechni sinovdan o'tkazish** uchun bir nechta tajribalar o'tkazildi. Sinovlar quritish tezligi, energiya sarfi va samaradorlikni aniqlashga qaratildi. Pechning ishlashi tijoriy issiq havoli quritgich (food dehydrator) va nazorat namunasi bilan taqqoslandi.

2.6.1. Termistor kalibrlash.

Termistorning aniqligini ta'minlash uchun u uchta ma'lum haroratda kalibrlandi: 0°C (muzli suv), 25°C (xona harorati) va 100°C (qaynayotgan suv). Harorat va qarshilik o'lchovlari quyidagicha edi:

0°C – 310 kOm

25°C – 100 kOm

100°C – 7.1 kOm

Ushbu ma'lumotlar Steinhart-Hart tenglamasi yordamida Beta koeffitsientini hisoblash uchun ishlatildi. Eng kam xatolikni ta'minlovchi Beta qiymati 3950 sifatida tanlandi.

2.6.2. Harorat gradientini o'lchash.

Kameradagi harorat taqsimotini aniqlash uchun uchta termistor 0 mm, 25 mm va 50 mm balandliklarda joylashtirildi. Harorat gradienti rPET bilan to'ldirilgan kamerada, 60°C sozlamada o'lchandi. Natijalar shuni ko'rsatdiki, isitish elementi yaqinidagi harorat yuqori bo'lib, yuqoriga qarab keskin pasayadi. Metall issiqlik o'tkazgich (heat sink) qo'shilganda harorat taqsimoti yaxshilandi.

2.6.3. Quritish tezligini taqqoslash.

Sinovlar uch guruhda o'tkazildi:

1. *Kichik namunalar (10 g rPET):* Har bir namunaga 300 mg suv qo'shildi (3% namlik). Vakuum pech 70°C va 80°C da, issiq havoli quritgich esa 70°C da sinovdan o'tkazildi. Har 15 daqiqada massa o'lchandi.

2. *Katta namunalar (350 g rPET):* 10.8 g suv qo'shildi (3% namlik). Har 60 daqiqada o'lchov olindi. Vakuum pechda issiqlik o'tkazgichlar ishlatildi.



3. *Biomassa (500 mg)*: Namlik taxminan 60% deb faraz qilindi. Har 15 daqiqada massa o'Ichandi.

Energiya sarfi multimeter yordamida kWh birligida o'Ichandi. Massa o'Ichovlari ochiq manbali aniq tarozi yordamida amalga oshirildi (5 mg aniqlik).

3.1. Kichik namunalar (rPET).

70°C da vakuum pech 75 daqiqada, issiq havoli quritgich esa 60 daqiqada quritishni yakunladi, ya'ni vakuum pech 25% sekinroq edi. 80°C ga ko'tarilganda vakuum pech 45 daqiqada, issiq havoli quritgich esa 75 daqiqada quritdi, bu vakuum pechni 40% tezroq qildi. Energiya sarfi vakuum pechda 0.55-0.61 kWh, issiq havoli quritgichda esa 0.36 kWh ni tashkil etdi. Bu vakuum pechni taxminan 70% ko'proq energiya sarflayotganini ko'rsatadi.

3.2. Katta namunalar (rPET).

350 g rPET sinovida vakuum pech 180 daqiqadan ko'proq vaqt talab qildi, lekin to'liq quritishga erishmadi. Kamerada kondensatsiya paydo bo'ldi, bu esa issiqlik taqsimotidagi muammolarni ko'rsatdi. Issiq havoli quritgich esa 60 daqiqada quritishni yakunladi. Energiya sarfi vakuum pechda 1.30 kWh, issiq havoli quritgichda 0.45 kWh edi. Vakuum pech katta hajmdagi suvni quritishda samarasiz ekanligi aniqlandi.

3.3. Biomassa sinovi.

500 mg biomassa vakuum pechda 75 daqiqada, issiq havoli quritgichda esa 150 daqiqada quridi. Vakuum pech 50% tezroq ishlagan bo'lsa-da, energiya sarfi deyarli bir xil edi (0.55 kWh va 0.56 kWh). Vakuum pech qo'shimcha namlikni olib tashlamadi, bu esa ikkala quritgichning chegarasini ko'rsatdi.

3.4. Umumiy xulosa

Natijalar jadvalda umumlashtirildi (1-jadval):

1-jadval: Sinov natijalari

Namuna turi	Quritgich	Quritish vaqti	Energiya sarfi (kWh/g)
10 g rPET (70°C)	Vakuum pech	75 daq	1.55



10 g rPET (70°C)	Issiq havo	60 daq	0.70
10 g rPET (80°C)	Vakuum pech	45 daq	0.80
350 g rPET	Vakuum pech	180+ daq	0.12
biomassa	Vakuum pech	75 daq	1.17

Ushbu tadqiqotda taqdim etilgan ochiq manbali vakuum pech quritish qobiliyatini muvaffaqiyatli namoyish etdi. Sinov natijalari pechni samaradorligi namunaning hajmi, namlik darajasi va isitish haroratiga bog'liqligini ko'rsatdi. Kichik hajmli namunalar (10 g gacha) 75 daqiqa ichida quritildi, bu laboratoriya sharoitlari uchun qulay ko'rsatkichdir. Katta hajmli namunalar (350 g) uchun esa quritish vaqti 3 soatdan oshdi, bu esa kameradagi notekis issiqlik taqsimoti bilan bog'liq muammolarni ochib berdi.

Kichik namunalar uchun samaradorlik. 10 g rPET sinovida vakuum pech 80°C haroratda issiq havoli quritgichga qaraganda 40% tezroq ishlagan bo'lsa-da, energiya sarfi 70% yuqori bo'ldi. Bu vakuum tizimining havo kompressoriga bog'liqligi bilan izohlanadi, chunki energiya 96% ga yaqini vakuum hosil qilishga sarflandi. Biomassa sinovida ham vakuum pech 75 daqiqada quritishni yakunlab, issiq havoli quritgichdan (150 daqiqa) ikki baravar tez ishlaganini ko'rsatdi. Bu natijalar vakuum pechni kichik hajmdagi, namlikka sezgir materiallarni quritishda samarali ekanligini tasdiqlaydi.

Katta namunalar uchun cheklovlar. 350 g rPET sinovida vakuum pechning kamchiliklari aniqlandi. Kameraning yuqori qismida kondensatsiya hosil bo'ldi, bu suvning to'liq chiqib ketmay, qayta kondensatsiyalanganini ko'rsatadi. Issiqlik gradienti tufayli pech katta hajmdagi suvni samarali qurita olmadi. Issiq havoli



quritgich esa bu sinovda 60 daqiqada quritishni yakunlab, katta hajmlar uchun afzalroq ekanligini isbotladi. Ushbu muammo kameraga qo'shimcha isitish elementlari (masalan, tasma isitgichlari) o'rnatish orqali hal qilinishi mumkin.

Namlik darajasini chuqur quritish. Vakuum pechning rPET kabi gigroskopik materiallardan namlikni chuqurroq olib tashlashi kutilgan edi, chunki vakuum muhitdagi namlik konsentratsiyasi past bo'ladi. Biroq, sinovlarda bu farq aniq o'lchanmadi. Buning sababi massa o'lchovlarining aniqligi (5 mg) va namunadagi dastlabki namlikning o'zgaruvchanligi bilan bog'liq. Bu xususiyatni to'liq tasdiqlash uchun qo'shimcha tadqiqotlar va yuqori aniqlikdagi namlik analizatorlari talab qilinadi.

Iqtisodiy tahlil. Vakuum pechni ishlab chiqarish xarajati 356.56 AQSH dollarini tashkil etdi (2-jadval). Bu tijoriy vakuum quritgichlar narxining (2295-2920 dollar) 20% dan kamrog'iga teng.

2-jadval: Xarajatlar taqqoslash

Quritgich turi	Narx (USD)	Tejamkorlik foiz
Vakuum pech (tijoriy)	2920	87.8%
Vakuum filament quritgich	2295	84.5%
Ochiq manbali vakuum pech	356.56	-

Xarajatlarning asosiy qismi vakuum tizimiga (268 dollar) to'g'ri keladi. Agar havo kompressorini allaqachon mavjud bo'lsa, xarajatlar 100 dollarga kamayadi. Qo'shimcha tejamkorlik uchun ejektorni 3D bosib chiqarish imkoniyati ham mavjud, bu esa 75 dollarga yaqin qo'shimcha tejash imkonini beradi.

Takomillashtirish imkoniyatlari. Pechning samaradorligini oshirish uchun bir nechta takliflar mavjud:

1. Issiqlik taqsimoti: Kameraning atrofiga qo'shimcha isitgichlar o'rnatish gradientni kamaytirishi mumkin.



2. Energiya samaradorligi: Vakuum valfi qo‘shish orqali havo kompressori tsikli ishlatilishi mumkin, bu esa energiya sarfini kamaytiradi.

3. Chuqurroq vakuum: Bir nechta ejektorlarni ketma-ket ulash vakuum darajasini oshirib, quritish tezligini yaxshilashi mumkin.

4. Raqamli takomillashtirish: Ejektorni to‘liq 3D bosib chiqarish xarajatlarni yanada pasaytiradi va ochiq manba tamoyillarini kengaytiradi.

XULOSALAR

Ushbu tadqiqotda past haroratda quritish uchun ochiq manbali vakuum pechni loyihalash, ishlab chiqarish va sinovdan o‘tkazish muvaffaqiyatli amalga oshirildi. Pech qayta ishlangan polietilen tereftalat (rPET) va biomateriallarni quritishda samarali ekanligini isbotladi, ayniqsa kichik hajmdagi namunalar uchun issiq havoli quritgichga nisbatan yuqori tezlik va teng darajada samaradorlik ko‘rsatdi. Tizimning umumiy xarajati 356.56 AQSH dollarini tashkil etib, tijoriy vakuum quritgichlar narxining taxminan 20% ga teng bo‘ldi. Bu pech laboratoriya sharoitida bir qator qo‘llanilishlarga ega, jumladan mikroorganizmlarni dehidratsiyalash, qayta ishlash va qo‘shimcha ishlab chiqarish (DRAM) uchun plastmassalarni quritish, shuningdek kimyoviy jarayonlarda foydalanish. Sinov natijalari shuni ko‘rsatdiki, vakuum pech kichik namunalar (10 g rPET va 500 mg biomassa) uchun optimal ishlaydi. 80°C haroratda quritish vaqti 45-75 daqiqani tashkil etdi, bu issiq havoli quritgichdan 40-50% tezroq edi. Energiya sarfi o‘rtacha 0.80-1.17 kWh/g bo‘lib, katta namunalar uchun 0.12 kWh/g gacha pasaydi. Biroq, katta hajmdagi materiallarni quritishda (350 g rPET) pech samarasiz bo‘ldi, chunki issiqlik taqsimotidagi muammolar tufayli suv kamerada qayta kondensatsiyalashdi. Pechning iqtisodiy jihatdan foydali ekanligi tijoriy muqobillarga nisbatan 84.5-87.8% tejamkorlik bilan tasdiqlandi. Ushbu loyiha ochiq manba tamoyillari asosida raqamli ishlab chiqarish imkoniyatlarini kengaytirishga xizmat qildi, chunki qismlarning aksariyati 3D bosib chiqarish orqali tayyorlandi va loyiha hujjatlari ochiq foydalanish uchun taqdim etildi.

Ushbu ishning asosiy yangiligi arzon narxlardagi vakuum pechni ochiq manba sifatida taqdim etish va uning rPET va biomateriallarni quritishda qo‘llanilishi bo‘ldi. An’anaviy ravishda qimmat va murakkab bo‘lgan vakuum quritish texnologiyasi



ushbu loyiha orqali kengroq foydalanuvchilar uchun ochiq va qulay bo'ldi. Tadqiqotda 3D bosib chiqarish va Arduino kabi ochiq texnologiyalardan foydalanish ham ushbu sohada yangi yondashuvni namoyish etdi.

Vakuum pechni yanada takomillashtirish uchun quyidagi yo'nalishlar bo'yicha tadqiqotlar davom ettirilishi mumkin:

1. Issiqlik taqsimotini yaxshilash: Kameraning devorlariga qo'shimcha isitgichlar o'rnatish orqali katta hajmdagi namunalar uchun quritish samaradorligini oshirish. Sinovlar issiqlik o'tkazgichlarning foydasini tasdiqlagan bo'lsa-da, yanada yaxshi issiqlik tarqalishi uchun alternativ usullar (masalan, ichki ventilyatsiya yoki ko'proq isitish elementlari) sinovdan o'tkazilishi kerak.

2. Namlik darajasini aniq o'lchash: rPET kabi gigroskopik materiallarda vakuum quritishning chuqur namlik olib tashlash qobiliyatini tasdiqlash uchun yuqori aniqlikdagi namlik analizatorlari bilan sinovlar o'tkazish. Bu issiq havoli quritish bilan solishtirganda vakuum pechni afzalliklarini aniqroq ko'rsatadi.

3. Energiya samaradorligini oshirish: Havo ejektorini tsiklli boshqarish uchun valf qo'shish va vakuum darajasini saqlashda energiya sarfini kamaytirish. Shu bilan birga, ko'p bosqichli ejektorlardan foydalanish vakuum darajasini chuqurlashtirib, quritish tezligini oshirishi mumkin.

4. To'liq raqamli ishlab chiqarish: Havo ejektorini SLA (stereolitografiya) 3D printerlarda bosib chiqarish imkoniyatini o'rganish. Bu xarajatlarni yanada pasaytiradi va loyihani ochiq manba sifatida kengroq tarqatishga yordam beradi.

Ushbu tadqiqot ochiq manbali vakuum pechni quritish texnologiyasi sifatida muvaffaqiyatli sinovdan o'tkazdi va uning laboratoriya sharoitida qo'llanilishi uchun iqtisodiy va samarali yechim ekanligini isbotladi. Pech kichik hajmdagi namunalar uchun past haroratda quritishni tez va samarali amalga oshiradi, lekin katta hajmlar uchun qo'shimcha takomillashtirish talab qilinadi. Ushbu loyiha nafaqat ilmiy jamoatchilik uchun qulay jihozni taqdim etdi, balki ochiq manba va raqamli ishlab chiqarish tamoyillarini rivojlantirishga ham hissa qo'shdi. Kelajakdagi tadqiqotlar pechni yanada kengaytirib, turli sohalarda qo'llanilishini oshirishi mumkin.

**ADABIYOTLAR RO'YXATI**

1. Parikh, D.M. "Solids Drying: Basics and Applications." Chemical Engineering, 2014, Vol. 121, pp. 42-45.
2. Jansen, J. "Plastic Failure Through Molecular Degradation." Plastics Engineering, 2015, Vol. 71, pp. 34-39.
3. Bozzelli, J. "Injection Molding: You Must Dry Hygroscopic Resins." Plastics Technology, 2010. Available online: <https://www.ptonline.com/articles/you-must-dry-hygroscopic-resins>
4. Stoughton, P. "How to Dry PET for Container Applications." Plastics Technology, 2014. Available online: <https://www.ptonline.com/articles/how-to-dry-pet-for-container-applications>
5. Sanchez, F.A., Boudaoud, H., Camargo, M., Pearce, J.M. "Plastic recycling in additive manufacturing: A systematic literature review and opportunities for the circular economy." Journal of Cleaner Production, 2020, Vol. 264, 121602.
6. Little, H.A., Tanikella, N.G., Reich, M.J., Fiedler, M.J., Snabes, S.L., Pearce, J.M. "Towards Distributed Recycling with Additive Manufacturing of PET Flake Feedstocks." Materials, 2020, Vol. 13, No. 19, 4273.
7. Amos, W.A. Report on Biomass Drying Technology. National Renewable Energy Laboratory: Golden, CO, USA, 1999.
8. Vega-Mercado, H., Marcela Góngora-Nieto, M., Barbosa-Cánovas, G.V. "Advances in Dehydration of Foods." Journal of Food Engineering, 2001, Vol. 49, pp. 271-289.
9. Sherman, L.M. "Resin Dryers: Which Type Is Right for You?" Plastics Technology, 2005. Available online: <https://www.ptonline.com/articles/resin-dryers-which-type-is-right-for-you>
10. Hubbard, B.R., Pearce, J.M. "Open-Source Digitally Replicable Lab-Grade Scales." Instruments, 2020, Vol. 4, No. 3, 18.
11. Karegoudar, T.B., Pujar, B.G. "Degradation of Terephthalic Acid by a Bacillus Species." FEMS Microbiology Letters, 1985, Vol. 30, pp. 217-220.



12. Ritala, A., Häkkinen, S.T., Toivari, M., Wiebe, M.G. "Single Cell Protein-State-of-the-Art, Industrial Landscape and Patents 2001-2016." *Frontiers in Microbiology*, 2017, Vol. 8, 2009.
13. Pearce, J.M. "Economic Savings for Scientific Free and Open Source Technology: A Review." *HardwareX*, 2020, Vol. 8, e00139.
14. Oberloier, S., Pearce, J. "General Design Procedure for Free and Open-Source Hardware for Scientific Equipment." *Designs*, 2017, Vol. 2, No. 1, 2.