

SZAKDOLGOZAT

Varju Ádám

2025



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

Szent István Campus

Műszaki Intézet

Mezőgazdasági és élelmiszeripari gépészmérnöki alapképzési szak

**HULLADÉKVÁLOGATÓ MŰSZAKI FEJLESZTÉSE DRS
FELDOLGOZÁSHOZ**

Belső konzulens:

Dr. Bártfai Zoltán

tanszékvezető

Mezőgazdasági és Élelmiszeripari
Gépek Tanszék

Készítette:

Varju Ádám

Gödöllő

2025

MŰSZAKI INTÉZET
MEZŐGAZDASÁGI ÉS ÉLELMISZERIPARI GÉPÉSZMÉRNÖK ALAPSZAK
Termeléstechológia és műszaki szolgáltató specializáció

SZAKDOLGOZAT

feladatlap

Varju Ádám (O3T65I)

részére

A diplomadolgozat címe:

Hulladékválogató műszaki fejlesztése DRS feldolgozáshoz

Feladatkiírás:

Vizsgálja meg a Budapest, Ezüstpfa utcai Hulladékválogató Mű léghálózatát. A vizsgálat elvégzése előtt ismertesse az üzem felépítését, célját, az üzemben található technológiai sort. A léghálózat vizsgálata során térjen ki a válogatást végző optikai szeparátorok légfogyasztásának és a beépített kompresszorok légszállításának viszonyára. Az elvégzett analízis eredményei alapján fogalmazzon meg fejlesztési javaslatokat!

Közreműködő tanszék: Mezőgazdasági és Élelmiszeripari Gépek

Külső konzulens:

Belső konzulens: Dr. Bártfai Zoltán egyetemi docens, MATE, Műszaki Intézet

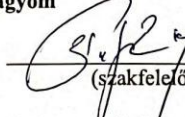
A dolgozat beadási határideje: 2025. év. 11. hó. 04. nap

Kelt: 2025. év. Október hó. 29. nap

Jóváhagyom

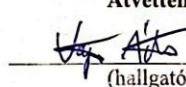


(tanszékvezető)



(szakfelelős)

Átvettem



(hallgató)

A dolgozat készítőjének külső konzulense nyilatkozom arról, hogy a hallgató az előre egyeztetett konzultációkon megjelent.

Kelt:évhónap

(külső konzulens)

Tartalomjegyzék

1.	Szakirodalmi áttekintés	- 8 -
1.1.	Hulladék	- 8 -
1.1.1.	A hulladék fogalma	- 8 -
1.1.2.	A hulladékgazdálkodás hierarchiája.....	- 9 -
1.1.3.	Hulladékhasznosítási technológiák	- 10 -
1.2.	Szelektív hulladék	- 11 -
1.2.1.	Szelektív hulladékgyűjtés.....	- 11 -
1.2.2.	A szelektív gyűjtés előnyei	- 11 -
1.2.3.	A szelektív gyűjtés során visszanyert anyagok	- 11 -
1.3.	Újrahasznosítási folyamatok	- 12 -
1.3.1.	Fémek újrahasznosítása.....	- 12 -
1.3.2.	Műanyagok újrahasznosítása.....	- 13 -
1.4.	DRS – visszaváltási rendszer	- 14 -
1.4.1.	Üveg visszaváltási rendszer	- 14 -
1.4.2.	DRS rendszer fogalma és felépítése	- 14 -
1.4.3.	DRS hulladék és a körforgásos gazdaság kapcsolata.....	- 15 -
1.4.4.	DRS rendszer Magyarországon.....	- 16 -
1.5.	DRS és NIR kapcsolata	- 16 -
1.5.1.	Infravörös fény	- 17 -
1.5.2.	A NIR felhasználása.....	- 17 -
1.5.3.	NIR spektroszkópia alkalmazása a gyakorlatban.....	- 18 -
1.5.4.	NIR spektroszkópia a hulladékfeldolgozásban	- 19 -
1.6.	Pneumatikus rendszerek	- 19 -
1.6.1.	A pneumatika eredete	- 19 -
1.6.2.	A sűrített levegő tulajdonságai	- 20 -
1.6.3.	Sűrített levegő előállítása	- 21 -
1.6.4.	Sűrített levegő tárolása és szállítása	- 22 -
1.6.5.	A levegő előkészítése és a kondenzáció kapcsolata.....	- 23 -
1.6.6.	Pneumatikus rendszer jellemzése	- 24 -
1.7.	Az optikai válogatórendszer	- 25 -
1.7.1.	Az optikai egység felépítése.....	- 25 -
1.7.2.	A berendezés működése	- 26 -
2.	Anyag és módszer	- 28 -
2.1.	HVM válogatási folyamatának bemutatása.....	- 28 -

2.1.1.	Előválogató berendezések	- 28 -
2.1.2.	Válogató berendezések és utóválogatás	- 29 -
2.1.3.	A sűrített levegővel működtetett berendezések.....	- 30 -
3.	Eredmények	- 31 -
3.1.	Levegős hálózat üzemi jellemzői	- 31 -
3.2.	Levegős hálózat méretezése	- 32 -
3.3.	A napi használatban lévő sűrített levegős hálózat vizsgálata.....	- 34 -
3.3.1.	HVM léghálózatának jelenlegi elemei	- 35 -
3.3.2.	Összes levegőigény (térfogatáram) számítása.....	- 37 -
3.3.3.	Összes légszállítás számítása.....	- 37 -
3.3.4.	Légtartály vizsgálata	- 39 -
3.3.5.	Egyéb berendezések vizsgálata	- 40 -
4.	Következtetések, javaslatok	- 41 -
4.1.	Hálózat vizsgálatának eredménye	- 41 -
4.2.	Javaslatok	- 42 -
4.3.	Kompresszor egység beszerzésének menete	- 43 -
4.4.	Gazdasági elemzés	- 43 -
4.5.	További fejlesztési javaslatok	- 46 -
5.	Összefoglalás	- 47 -
	Irodalomjegyzék.....	- 49 -
	Ábrajegyzék	- 52 -
	Táblázatok jegyzéke.....	- 52 -

Rövidítések jegyzéke

<i>Rövidítés</i>	<i>Angol nyelvű megfelelő</i>	<i>Magyar nyelvű megfelelő</i>
HVM	-	Hulladékválogató Mű
DRS	Deposit-Refund System	Betétdíjas visszaváltási rendszer
NIR	Near Infrared	Közeli Infravörös
PET	polyethylene terephthalate	polietilén-tereftalát
RDF	Refuse Derived Fuel	másodlagos tüzelőanyag
EoW	End of Waste	hulladékból előállított termék
DLA	Deep Laiser	2M osztályú lézer (400-700 nm)

Bevezetés

A mai társadalom fogyasztási szokásaiból kifolyólag átgondolt, fenntartható hulladékgazdálkodás szükségeltetik. A megnövekedett fogyasztás és a csomagolt áruk iránti kereslet nagy mennyiségű hulladékot generál, már az előállítás pillanatában is, hiszen ezek az anyagok végső soron csak az áru védelmére, tárolására, vagy frissen tartására szolgálnak. Ez a normatíva teszi szükségessé a csomagolóanyagok újrahasznosíthatóságának kiaknázását, ezáltal a hulladékként kezelt anyagok szétválogatását és későbbi, anyagában történő újra felhasználását. Ehhez azonban kiterjedt gyűjtő hálózatra, a lakosság ösztönzésére, majd a begyűjtött szelektív hulladék szeparálására/szétválogatására van szükség. Ennek okán létesült Budapesten a Hulladékválogató Mű, melynek rendeltetése a szelektív hulladék anyag szerinti szétválogatása volt.

2024 júliusában bevezetésre került Magyarországon a betétdíjas visszaváltási rendszer és a Hulladékválogatót átállították a visszaváltó automatákból kinyert italcsomagolási hulladékok feldolgozására. Az üzem gépsora kisebb beállítási módosításokat követően alkalmasnak bizonyult az új funkció betöltésére, azonban néhány berendezés okafogyottá vált. A leglátványosabb változás a beérkező anyagáram újrahasznosíthatóságának mértékében következett be, mert míg a szelektív hulladéknál az anyagáram 40%-a került be a válogatósorra, a maradék 60% pedig kiesett az előválogatás hatására, addig a visszaváltott csomagolási hulladékok 90%-a megy keresztül a válogatósoron. Ezt a több, mint kétszeres anyagáram növekedést csak úgy lehet kapacitással lekövetni, ha a berendezések és az ellátásukra szolgáló energiaformák folyamatosan rendelkezésre állnak.

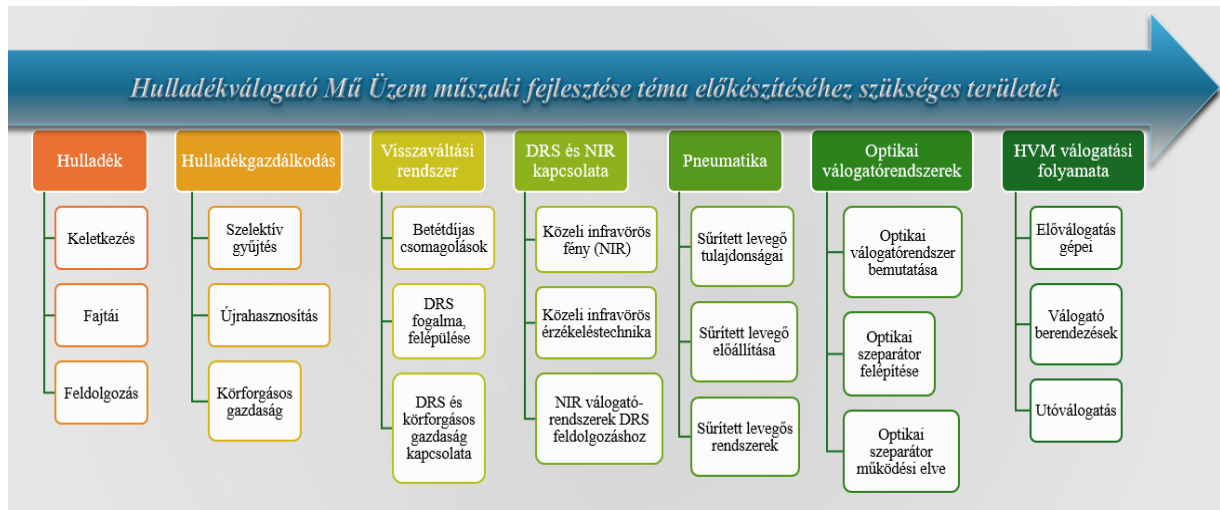
A témaválasztás nem véletlen, budapesti lakosként fiatal korom óta tapasztalom a szelektív hulladékgyűjtés kihívásait környezetemben. A kezdeti nehézségek ellenére sok éve működik a fővárosban a szelektív hulladékgyűjtés, ugyanakkor a visszaváltási rendszer megjelenésekor érezhetően megváltozott a szelektív hulladékgyűjtési hajlandóság, így az ebből keletkező szelektív hulladék mennyisége növekedett.

Számomra fontos, hogy a környezet védelmét szem előtt tartva, fenntartható hulladékgyűjtési kultúra alakuljon ki a lakosság körében és az így keletkező hulladék könnyebben legyen újrahasznosítható. A hulladékválogató fejlesztésének vizsgálatával ezt szeretném előmozdítani oly módon, hogy a válogató mindenkor megbízható és folyamatos üzemeltetése biztosítható legyen. A szakdolgozatom megírásának célja az üzem léghálózati rendszerének felülvizsgálata az üzemeltetési adatok felhasználásával. Ebből kifolyólag a pneumatikus hálózat méretezését és fejlesztési tervének előkészítését szeretném elvégezni.

1. Szakirodalmi áttekintés

1.1. Hulladék

A választott téma komplexitásából és összetettségéből kifolyólag számos, alapvetően egymással nem összefüggő terület kerül bemutatásra a fejezetben. A megértés, illetve az összefüggések és kapcsolatok könnyebben láthatóvá tételét szolgálja az alábbi ábra:



1.ábra: Áttekintés

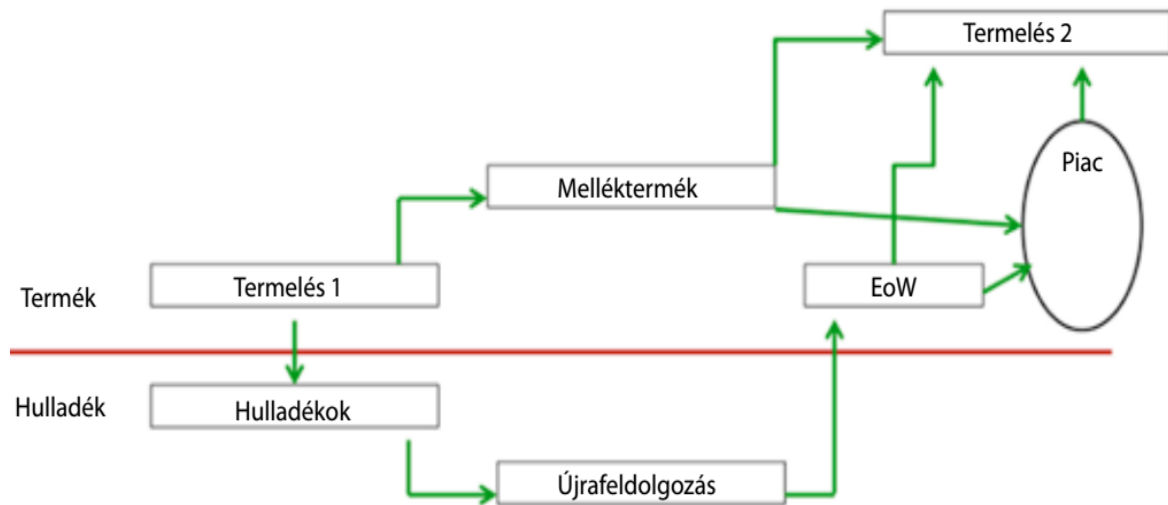
(Forrás: saját készítés)

Többek között a hulladékgyűjtési szokások és a DRS kapcsolata adja az indoklást a HVM működésére, majd a további bekezdésekben a másodnyersanyagok fontosságáról, a pneumatikus rendszerek felépítéséről és legfontosabb jellemzőiről, illetve az optikai válogatórendszerek szerkezeti felépítéséről esik szó.

1.1.1. A hulladék fogalma

A hulladék, mint fogalom a köznyelvben jelen van, gyakran használt kifejezés, jelentését behatárolni azonban nem egyszerű. A hulladékról szóló 2012. évi CLXXXV törvény (Ht.) szerint „hulladék bármely anyag vagy tárgy, amelytől birtokosa megválnak, megválni szándékozik vagy megválni köteles”. Ez egy igen tág meghatározás, ezért manapság a hulladék státusz megszűnt (EoW), a melléktermék, mint fogalom került használatba. A változtatás célja, hogy piacképes alapanyagot lehessen a termelésbe visszavezetni, biztosítva a fenntartható erőforrás gazdálkodást. A melléktermék lényege, hogy nem válik hulladékká, így viszont közvetlenül felhasználhatóvá válik egyéb ipari folyamatokban. Az EoW státusz bevezetésének

célja, hogy a már hulladékká vált anyagokból az újrahasznosítás során ismét termék legyen előállítható és visszavehető legyen a termelésbe. A folyamatot az 1. ábra szemlélteti:



2. ábra: Melléktermék és hulladék hasznosításának folyamatábrája

(Forrás: Aleksza – Hulladékgazdálkodás, 2017)

1.1.2. A hulladékgazdálkodás hierarchiája

A hulladék napjainkban mind társadalmi, mind gazdasági problémaként van jelen a mindennapokban. A hulladékok kezelésére fordított területek az életteret csökkentik, de a keletkezett hulladék az egészségre is negatív hatással lehet. A gazdaság szempontjából szintén nem elhanyagolható kérdéskör, hiszen a hulladékkezelés költségei annak fajtájától függően igen magasak lehetnek. Ugyanakkor, ha megfelelően dolgozzuk fel a hulladékot, akkor erőforrásként funkcionálhat a gazdaság számára, így a megfelelő megközelítéssel és célkitűzéssel hasznossá tehető a keletkezett hulladék.

A hulladékgazdálkodás hierarchiája egy olyan sorrendet kíván rögzíteni, amelyet szem előtt tartva kell a hulladékgazdálkodást megtervezni és megvalósítani (2. ábra). A hierarchia szerint a legfontosabb törekvés a hulladék keletkezésének megelőzése, hiszen így nincsen feldolgozandó, vagy kezelendő anyag. Amennyiben ez elkerülhetetlen, meg kell próbálni a hulladékká átminősült termékek mennyiségét csökkenteni, tisztítás után visszahelyezni eredeti feladatkörébe.

Ha ez nem lehetséges, akkor a hulladékot anyagában kell hasznosítani újrafeldolgozás útján, vagy energetikailag, azaz termikusan.

A legutolsó lehetőség a hulladék lerakás, mellyel értékes földterületek vesznek el, illetve a lerakással járó környezeti ártalom is számottevő.



3. ábra: Hulladékgazdálkodás hierarchiája

(Forrás: Szeder, 2000)

1.1.3. Hulladékhasznosítási technológiák

A hulladékok hasznosítására többféle eljárást dolgoztak ki, ezeket az alábbiak szerint csoportosíthatjuk (Mozsgai – Simándi, 2017):

- A hasznosítás során bekövetkező anyagminőség változás alapján:
 - Anyagátalakítás nélküli hasznosítás – újrahasználat (reuse)
 - Anyagátalakítással történő hasznosítás – újrahasznosítás (recycling)

- A hasznosítás szervezési tulajdonságai alapján:
 - Hasznosítás a keletkezési helyen,
 - Hasznosítás egyéb, erre szakosodott helyen – másodnyersanyag,

- A hasznosítás technológiai alapmechanizmusai szerint.

Mivel esetünkben az újrahasznosítás és az odavezető út a releváns, így a következőkben a szelektív gyűjtésről lesz szó.

1.2. Szelektív hulladék

1.2.1. Szelektív hulladékgyűjtés

A települési szilárd hulladékok szelektív gyűjtésének módszere a fejlettebb iparral rendelkező országokban az elmúlt 15-20 évben került előtérbe (Aleksza, 2017). Ennek célja, hogy a bonyolult gépesítésű régebbi válogatóüzemek üzemeltetése elhanyagolható legyen és a mechanikai osztályozás művelete kiváltásra kerüljön. A lakossági szelektív hulladékgyűjtés lényege, hogy a hulladék már a keletkezés helyén könnyen elkülöníthető anyagcsoportok szerint, szeparáltan kerül begyűjtésre, így az utóválogatás egyszerűbb módon megoldható és tisztább, olcsóbb, továbbá jobb minőségű másodnyersanyag képződik az ipar számára.

1.2.2. A szelektív gyűjtés előnyei

Az alábbi pontok szemléltetik, hogy a szelektív lakossági hulladékgyűjtés módszerének bevezetéséből milyen előnyök származnak:

- hasznosítható anyagok visszaforgatása a feldolgozóiparba
- környezeti terhelés csökkentése a veszélyes anyagok elkülönített gyűjtésének köszönhetően
- lerakóhelyek kapacitásának megtakarítása, új lerakóhelyek nyitásának hanyagolása

Ezen pontok alapján tehát nem csupán az ipar számára tud a szelektív gyűjtés erőforrásokat produkálni, hanem a környezetvédelemre is nagyobb figyelem fordul. A lerakóhelyek gyarapodásának féken tartása jelentős környezeti terhelés csökkentést eredményez és a veszélyes hulladékok sem kerülnek ki a természetbe, hanem megfelelő ártalmatlanítási eljárások alkalmazásával semlegesítésre kerülnek.

1.2.3. A szelektív gyűjtés során visszanyert anyagok

A szelektív gyűjtés több előnnyel is rendelkezik, ezek közül a másodnyersanyagok kinyerése a legfontosabb az ipar szempontjából. Az elkülönített gyűjtés során több olyan anyagáram jön létre, amelyek önmagukban anyagcsoport szerint homogénnek tekinthetőek, ezek a következők:

- Papír
- Műanyag
- Fém
- Ezen kívül tüveg, esetlegesen fa

Az újrahasznosítható anyagok közül a fémek és a műanyagok – azon belül is a PET – másodnyersanyagként történő felhasználása releváns a téma szempontjából.

A fémek alapanyagai az ércek, melyek véges mennyiségben állnak rendelkezésre a Földön, így a fémek újrahasznosítása szintén nagy jelentőséggel bír. A fémhulladék fő alkotói az alumínium és az acél. Az alumínium előállítása rendkívül költséges folyamat, 1 tonna alumínium gyártásához megközelítőleg 4 tonna bauxitot használnak fel, ezen felül 1 tonna vörösiszap keletkezik melléktermékként. Az ipar számára egy kedvező tulajdonságokkal bíró, könnyen alakítható alapanyag, ezért gyakori a felhasználása számos területen. A lakossági hulladékban leginkább az italcsomagolásként felhasznált alumínium jelenik meg, melyet igen gazdaságosan lehet újrahasznosítani. A visszagyűjtött dobozokból végül késztermékeket, járműipari alkatrészeket állítanak elő, melyeknek az előállítási költsége mintegy 95%-kal alacsonyabb, mintha elsődleges alumínium kerülne felhasználásra.

Az acélhulladékok általában ónozott felületűek, szintén italcsomagolásként, vagy konzervdobozként jelenik meg a hulladékban.

A műanyagok nagymolekulájú, szintetikus vegyületek, legfőbb alkotójuk valamely polimer. Alapanyaguk kőolaj, melyből mesterségesen, magas fokú adagolással kerülnek előállításra, ezért lebomlási idejük meglehetősen hosszú, de léteznek nem lebomló műanyagok is. Az 1960-as évektől kezdődően ugrásszerű fejlődésnek indult a műanyagipar, mert a fogyasztói társadalom szempontjából előtérbe került a műanyagok felhasználása, tekintettel olcsóságukra. Kényelmi szempontból szintén előnyös, hiszen számos egyszer használatos csomagolás állítható elő a különféle műanyagokból, ezt tükrözi a hulladék összetétele manapság is. Ugyanakkor a műanyagok sokszínűségére vall, hogy az egyszer használatos termékekkel szemben készülnek olyanok is, melyeknek élettartama 10-20 év is lehet. Ezzel a hulladékképződés során is számolni kell.

A lakossági hulladékban leginkább a PET-palackok képeznek újrahasznosítható műanyag hulladékot, melyeket többféleképpen lehet anyagukban felhasználni.

1.3. Újrahasznosítási folyamatok

1.3.1. Fémek újrahasznosítása

A fémhulladékok kisebb mennyiségben vannak jelen a lakossági szelektív hulladékban, mint a műanyagok vagy a papír, ugyanakkor a fentebb említett magas előállítási költségekre való

tekintettel fontos az újrahasznosításuk. A két leggyakoribb hulladékfém, az alumínium és az acél újrahasznosításának folyamata kerül bemutatásra röviden.

Az italcsomagolások több, mint 50%-a (Aleksza, 2017) manapság már újrahasznosított alumínium felhasználásával készül. Ezeket az italdobozokat lehet a leggazdaságosabb módon, anyagvesztés nélkül hasznosítani.

A begyűjtött dobozokat összepréselik, majd felaprítják, ezután a felaprított anyagot mágnesesen szeparálják. Az aprítékot olvadáspont közeli hőmérsékletre hevítik (500-600°C körüli hőmérséklet), miközben a felvitt festékanyag, lakk, illetve az egyéb szennyeződések eltávolításra kerülnek. Miután a szennyező anyagok elégtelenek, az alumíniumot felolvasztják, majd a salak eltávolítását követően tuskókat öntenek belőle. A tuskókat kohókban feldolgozzák és készterméket állítanak elő a visszanyert anyagból.

Az acélt, mint csomagolóanyagot, a konzerviparban alkalmazzák a leggyakrabban, de néhány italgyártó is készít belőle italcsomagolást, mert olcsóbb alapanyag, mint az alumínium. A konzerveknél a belső felületet ónréteggel vonják be.

A begyűjtött hulladékból mágneses eljárással választják ki az acélt. A hulladékot megtisztítják, majd óntalanítják. A kinyert ón szintén újra felhasználható anyag. Az óntalanított acélt préselik, bálázzák, majd kohóban alakítják újra terméké.

1.3.2. Műanyagok újrahasznosítása

A különféle műanyagok közül a leggyakrabban használt vegyület a PET. Ez az anyag leginkább italcsomagolásként van jelen a szelektív hulladékban, mivel jelentős mennyiségű csomagolt árut fogyaszt a lakosság. Ebből kifolyólag ezen palackoknak az újrahasznosítása egy jelentős folyamat, mely az alábbiakban kerül bemutatásra.

A PET feldolgozása, akárcsak a többi műanyagé, mechanikai műveletek sorozata, mely válogatásból, aprításból, mosásból, szortírozásból, szárításból és darabosításból épül fel.

A begyűjtött PET-palackokat szín szerint szétválogatják, majd bálázzák, ezután kerül a hasznosítás helyszínére. A durva aprítást követően többfázisú vizes- mosószeres kezelésre kerül sor, majd dörzsmosóval és áztatókádak felhasználásával kerülnek eltávolításra a címkék és a szennyeződések. A mosás után a durva apríték egy szárító egységbe kerül. Az utolsó folyamat a granulálás, aminek köszönhetően a műanyagipar számára felhasználható granulátum készül.

Amennyiben a granulátumot az élelmiszeriparban kívánják csomagolóanyagok készítéséhez felhasználni, egy biológia kezelésnek is alá kell vetni a végterméket.

1.4. DRS – visszaváltási rendszer

1.4.1. Üveg visszaváltási rendszer

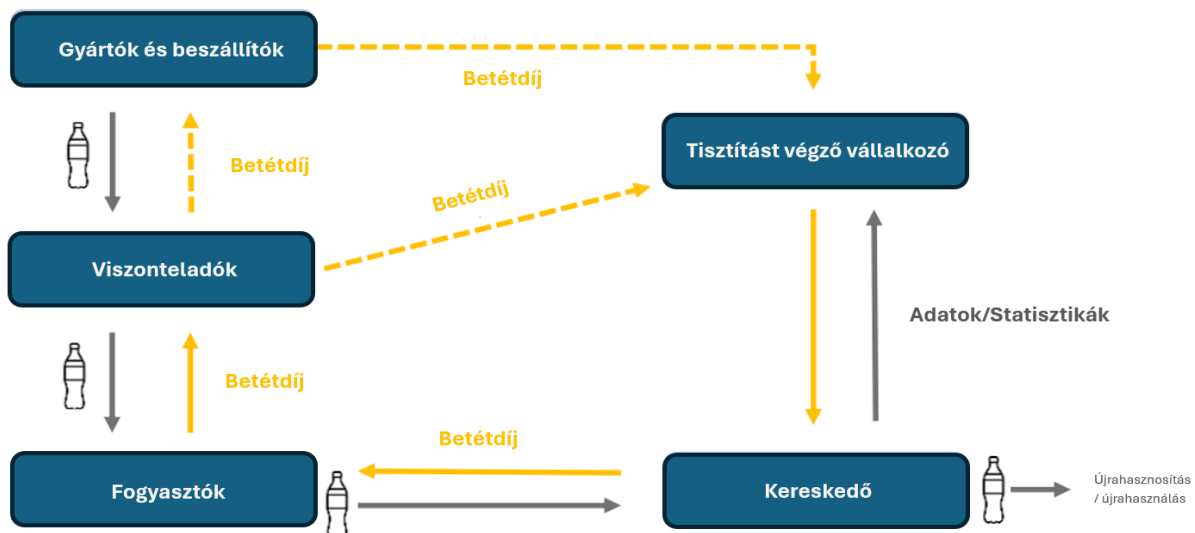
A szelektív hulladékgyűjtés szervezett módja a visszaváltás elvére épül. Korábban, a műanyag csomagolások megjelenése előtti időkben a felhasznált üvegpalackokat betétdíjas rendszerrel lehetett újra felhasználni.

A rendszer alapja, hogy a megvásárolt termék és az annak csomagolására felhasznált üvegpalack külön-külön egységárral rendelkezik, azokat külön számolják fel a vásárláskor, de a csomagolás egységárát visszaszolgáltatják, amennyiben a palackot ép állapotban leadjuk a kijelölt gyűjtőponton.

Ez a módszer számos előnnyel rendelkezik, azonban az üvegpalackok fajlagosan nagy tömege, sérülékenysége és amortizálódása nem tudta volna kielégíteni a fogyasztói igényeket az idő előrehaladtával, ezért egyre inkább teret nyertek a műanyag csomagolások.

1.4.2. DRS rendszer fogalma és felépítése

A DRS egy angol nyelvű mozaikszó rövidítése, kifejtve *Deposit Return, vagy Refund System* (a továbbiakban DRS), azaz betétdíjas visszaváltási, vagy betétdíj visszaszolgáltatási rendszer. A korábbi, fentebb kifejtett üveg visszaváltási rendszerhez hasonlóan a DRS rendszer is a vásárláskor megfizetett betétdíjra épül, melynek működési költségeit az Európai Unión belül a csomagolásokat gyártó vállalatok finanszírozzák. A megvásárolt termékekre a betétdíj mértékével egyező felárat számolnak fel, melyet visszaváltáskor kap vissza a fogyasztó. A rendszerbe felvett csomagolások anyaga fém (alumínium vagy acél), műanyag (PET-palackok) és üveg.



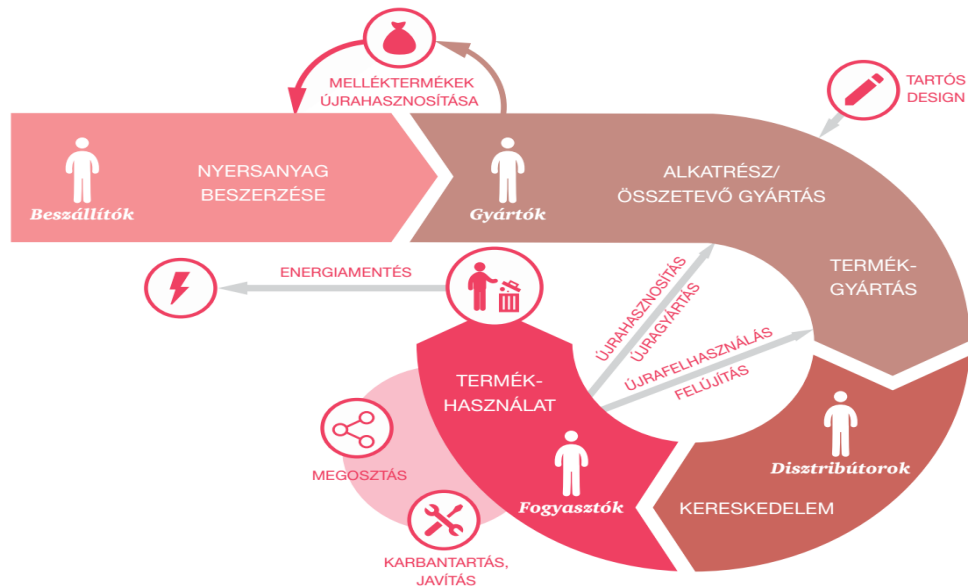
4. ábra: A DRS rendszer felépülése

(Forrás: OECD Environment Working Papers No. 208)

Visszaváltáskor a gyűjtőpontokon kihelyezett visszaváltó automatákba kell behelyezni a csomagolásokat. Az automaták vonalkód alapján azonosítják a csomagolásokat, majd egy présszerkezet összeroppantja a palackokat, illetve a dobozokat. Az így visszaszolgáltatott csomagolási hulladék már a lakossági hulladéktól szelektáltan kerül visszagyűjtésre, majd szétválogatásra és másodnyersanyagként történő felhasználásra.

1.4.3. DRS hulladék és a körforgásos gazdaság kapcsolata

A DRS hulladékgyűjtési rendszer célja, hogy a hulladékgazdálkodási piramis elveit követve az elhasznált italcsomagolási hulladékok a lakossági hulladéktól elkülönítve, tisztán újrahasznosítható anyagáramként kerüljenek vissza a feldolgozóiparba. A korábbiakban említett piramis szerint törekedni kell az újrahasznosítás mértékének növelésére, hogy lehetőség szerint minél kevesebb nyersanyagot kelljen felhasználni. Ezt hivatott megvalósítani a körforgásos gazdaság.



5. ábra: Körforgásos gazdaság szerkezete és szereplői

(Forrás: *Ha a kör bezárul – a körforgásos gazdaság jelentősége és lehetőségei* – PwC, 2018)

A körforgásos gazdaság lényege, hogy az eddig alkalmazott „lineáris” módszer helyett – ahol a termék életciklusa a gyártást, a felhasználást és a hulladékká minősülést foglalja csupán magába – egy körforgás jöjjön létre. Ennek elérése azt eredményezné, hogy a hulladék státusz megszűnik, az eddig hulladéknak tekintett anyagok visszakerülnek a feldolgozóiparba és másodnyersanyagként ismét felhasználásra kerülnek. Ez a modell a hosszútávú fenntarthatóságot és a környezetvédelmet szem előtt tartva kínál egy átalakult gazdasági struktúrát, melynek elérésében egy fontos lépés a DRS rendszer alkalmazása.

1.4.4. DRS rendszer Magyarországon

A hazai rendszerben külön jelöléssel ellátott csomagolásokat a Re-Pontokon lehet visszaváltani, ahol az erre a célra kialakított automata egy présberendezés segítségével tömöríti a palackokat és dobozokat. Ezután egy hulladékválogatóba kerül elszállításra a visszanyert anyag. A válogatás során szeparálják a fém és a műanyag hulladékot, majd a PET-palackokat szín szerint is szétválogatják. Az így kapott anyagokat bálázzák, ahonnan másodnyersanyagként történő felhasználásra kerülnek tovább.

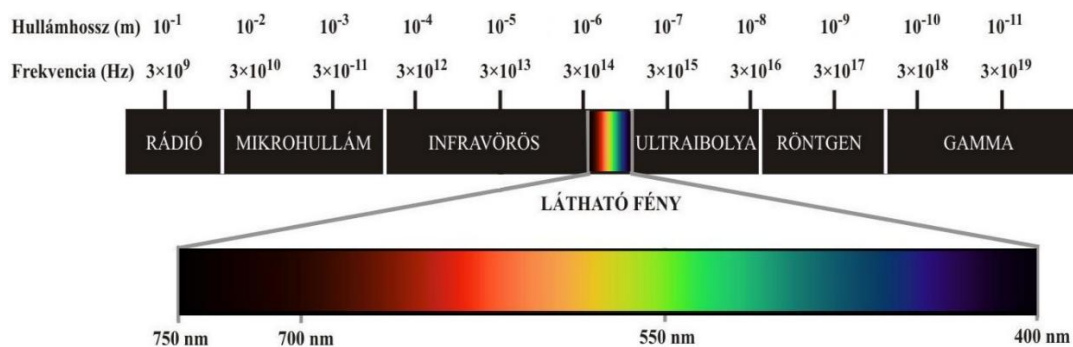
1.5. DRS és NIR kapcsolata

A korábban ismertetett DRS hulladékok a Re-Pontokról egy hulladékválogatóba kerülnek, ahol különböző berendezések segítségével anyag, majd később szín szerint kerülnek szétválasztásra.

A folyamat legfontosabb technológiai egysége az optikai szeparátor, mely a közeli infravörös, azaz Near Infrared (a továbbiakban NIR) spektroszkópia elvén működik.

1.5.1. Infravörös fény

Az elektromágneses hullámok létezését H. Hertz német fizikus igazolta 1888-ban, amikor Maxwell korábbi elmélete, miszerint a fény is elektromágneses sugárzás, bebizonyosodott. Ezeket a hullámokat a hullámhossz (λ , [nm]), vagy frekvencia (f , [Hz]) szerinti tartományokba sorolás útján lehet elkülöníteni egymástól, az ezekből kiállított sorozatot teljes színeképek nevezzük. Az alábbi ábra szemlélteti a tartományokat tulajdonságaik szerint:



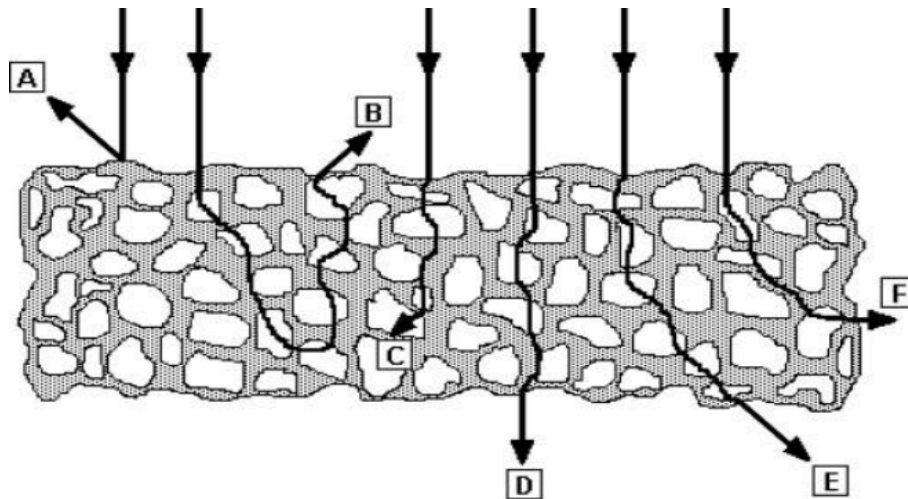
6. ábra: Az elektromágneses sugárzás tartományai

(Forrás: [titan.physx.u-szeged.hu/lézerek az orvostudományban](http://titan.physx.u-szeged.hu/lézerek%20az%20orvostudományban))

Az infravörös sugárzás spektrumát közeli = NIR ($\lambda=780-2500$ nm), középső = MIR ($\lambda=2,5-25$ μm) és távoli = FIR ($\lambda=25-300$ μm) tartományokra osztják fel (Pokol, 2011).

1.5.2. A NIR felhasználása

A molekulák atomjai között lévő kémiai kötések hosszúsága és egymással bezárt szöge változhat, azaz a molekula rezeghet. Ennek a belső rezgésnek az energiája és a frekvenciája diszkrét értékeket vesz fel, mely mindig az adott molekulára jellemző. Ha a diszkrét energiaszintek között átmenetet szándékozunk kiváltani, valamilyen gerjesztő hatásra lesz szükség, a molekulát megfelelő hullámhosszú sugárzásnak kell kitenni. A sugárzás eközben szóródik vagy elnyelődik, ezután az elnyelt fény hullámhosszai alapján következtethetünk az anyag összetételére. Ezen az elven működik az infravörös spektroszkópia, melynek alapja az infravörös fény. Ha a közeli infravörös (NIR) tartományban található sugárzást különböző anyagmintákra bocsátjuk, eltérő kölcsönhatásokat figyelhetünk meg. A mintáról visszaverődő, vagy a mintán átjutó sugárzást detektorokkal érzékelhetjük.



7. ábra: Fény és anyag kölcsönhatása
(Forrás: Burns és Ciurczak, 2008)

Az ábrán a következő kölcsönhatások figyelhetők meg:

- A: felületi (spekuláris) reflexió,
- B: diffúz reflexió,
- C: fényelnyelés (abszorpció),
- D: transzmisszió (átbocsátás),
- E: fényelhajlás,
- F: fényszóródás.

Diffúz reflexió (B) esetében az infravörös sugárzás a mintára merőlegesen érkeve a minta fizikai szerkezetétől függően behatol a mintába, majd visszaverődik, illetve transzmisszió (D) jelenségét tapasztaljuk, ha a mintára merőlegesen érkező sugárzás közel egyenes vonalon halad át a mintán. Ez azért lényeges, mivel a NIR spektroszkópia a diffúz reflexió és a transzmisszió jelenségének kombinációjaként értelmezhető transzreflexió jelenségét használja fel. A transzreflexió lényege, hogy a mintán átbocsájtott fény egy tökéletesen reflektáló felületről visszaverődve újra átjut a mintán. Így a fény úthossza a kétszeresére nő, mielőtt a detektorba jut.

1.5.3. NIR spektroszkópia alkalmazása a gyakorlatban

A mérés technikában alkalmazott NIR gyors, roncsolásmentes gyorsvizsgálatok elvégzését teszi lehetővé. Az 1960-as években a mezőgazdaságban használták fel elsőként a betakarított gabonák minőségellenőrzésének céljából. A mérés technika elve, hogy a különböző anyagok

molekulái sajátos módon nyelik el és szórják a közeli infravörös fényt. Ezzel a technikával a gabonaszemek vizsgálatakor a különböző hullámhosszoknál jelentkező abszorpciók alapján megállapítható a kémiai összetétel, megbecsülhetők jó közelítéssel a beltartalmi tulajdonságok.

1.5.4. NIR spektroszkópia a hulladékfeldolgozásban

A DRS hulladék feldolgozása során a minél nagyobb anyagáram tisztaság elérése a cél. A válogatási folyamat rendeltetése, hogy a hulladékok anyag szerint, illetve bizonyos anyagcsoportok szín szerint kerüljenek szétválasztásra.



8. ábra: Optikai hulladékválogató működés közben

(Forrás: bestmachinery.hu/nir-optikai-hulladekvalogato-rendszerek)

A mágnesezhető hulladékok leválasztása után alumínium és PET marad vegyesen. Az első optikai szeparátor az alumíniumot választja külön a PET-től, a spektroszkópiában tárgyalt jelenségek felhasználásával, a reflexió és a transzmisszió különbözőségének elvén. A detektált alumínium hulladékot pneumatikusan, egy légsugárral kifújja a szeparátor szerkezet az anyagáramból. A megmaradt PET anyagáram ezután szín szerint kerül válogatásra, ugyancsak a spektroszkópiai jelenségek felhasználásával. A válogatás végén elkülöníthetővé válik a kék, a fehér és a tarka PET.

1.6. Pneumatikus rendszerek

1.6.1. A pneumatika eredete

A sűrített levegővel történő munkavégzés nem újkeletű megoldás, már az ókori Hellaszban is készült olyan katapult, melynek munkavégző közege sűrített levegő volt. A pneumatika neve is a görög „*pneuma*” szóból ered, mely levegőt jelent. A múlt század '50-es éveiben kezdődött

meg szisztematikusan a tudományterület kutatása, majd nem sokkal később az ipari szinten történő alkalmazása. Manapság szinte minden automatizált termelési folyamatban találhatóak pneumatikus elemek. A technológia lényege, hogy az atmoszférikus (1,013 bar) levegő nyomását sűrítéssel növelik, majd a nagynyomású, sűrített levegőt tartályban tárolják. A tárolt levegő csővezetéseken jut el a rendeltetési helyére, ahol munkahengereket táplál munkavégzés céljából.

1.6.2. A sűrített levegő tulajdonságai

A pneumatikában az energiahordozó, a munkavégző közeg maga a sűrített levegő. Számos pozitív tulajdonsággal bír, melyek a következők:

- Előfordulás: Gyakorlatilag mindenhol korlátlan mennyiségben áll rendelkezésre.
- Szállítás: csővezetéken nagy távolságra egyszerűen, könnyen szállítható.
- Tárolhatóság: tartályban tárolható, onnan elvezethető, tartályokban szállítható.
- Hőmérséklettűrés: Hőmérsékletváltozásokra érzéketlen, így biztonságosan alkalmazható különleges hőmérsékleti viszonyok között is.
- Biztonság: Robbanás- és tűzbiztos, nincs szükség drága biztonsági berendezésekre
- Tisztaság: Tömítetlen vezetéseknél, elemeknél sem tud szennyeződés bekerülni a kiáramló levegő következtében a rendszerbe.
- Felépítés: A munkavégző elemek felépítése egyszerű és ennek megfelelően olcsó.
- Sebesség: áramlási sebessége viszonylag magas, így jelentős munkasebességek elérését teszi lehetővé. (A pneumatikus munkahengerek dugattyúsebessége 1-2 m/sec nagyságrendű.)
- Állíthatóság: A sebesség fokozatmentesen vezérelhető, ill. az erő kifejtés fokozatmentesen szabályozható.
- Túlterhelhetőség: A készülékek meghibásodás veszélye nélkül túlterhelhetők.

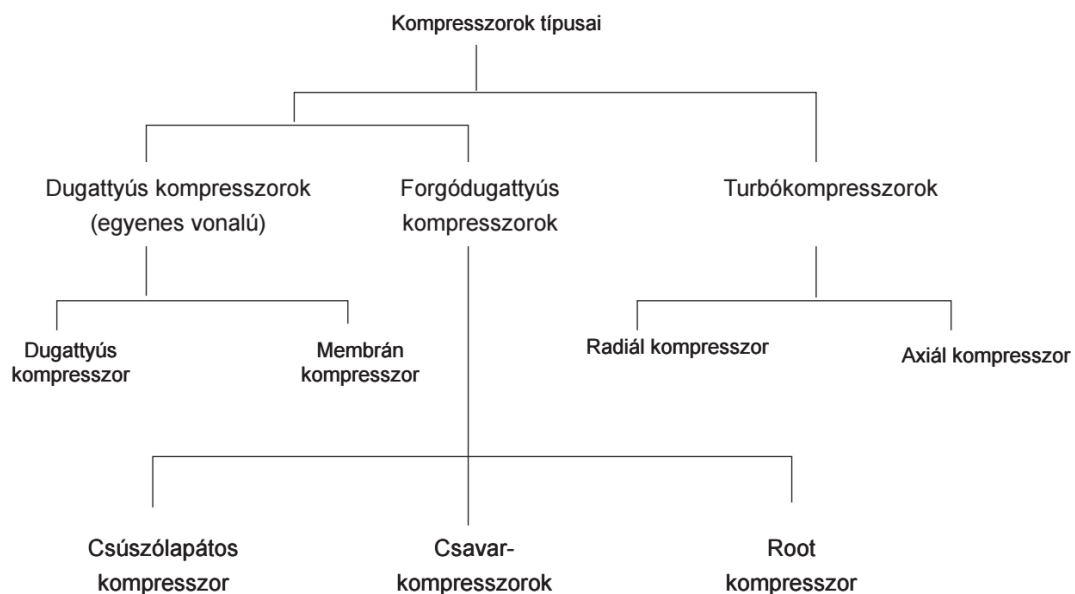
A pneumatika alkalmazási területeinek pontos behatárolhatóságához azonban ismerni kell a sűrített levegő negatív tulajdonságait is:

- Előkészítés: Gondos előkészítést igényel, az energiahordozó szennyeződést és nedvességet nem tartalmazhat. Ez az elemek élettartamát csökkentené.
- Összenyomhatóság: A pneumatikus hengerekkel nem lehet terhelésfüggetlen, egyenletes, ill. állandó dugattyúsebességet biztosítani.

- Erőkifejtés: A sűrített levegő csak egy meghatározott erőkifejtésig gazdaságos. Normál üzemi nyomás (700 kPa, 7 bar esetén) a lökettől és a dugattyúsebességtől függően, a határterhelés 20 000-30 000 N, 2000-3000 kp körüli érték.
- Kipufogás: A kipufogó levegő zajos, hangtompítás szükséges.
- Költségek: A sűrített levegő az előállítás energiaigényéből fakadóan egy viszonylag drága energiahordozó, a pneumatikus rendszerek hatásfoka alacsony.

1.6.3. Sűrített levegő előállítása

A sűrített levegő előállítása kompresszorok alkalmazásával történik. Ezek a berendezések az atmoszférikus levegőt a kívánt nyomásértéknek megfelelően sűrítik. A megfelelő kompresszor kiválasztása a szükséges üzemi nyomás, a szállítandó levegőmennyiség és az üzemi körülmények figyelembevételével történik. A kompresszorokat működési elvük alapján csoportosíthatjuk, megkülönböztetünk dugattyús, forgódugattyús és turbókompresszorokat. A dugattyús kompresszorok a térfogatkihasználás elvén működnek, míg a turbókompresszorok áramlástechnikai elven működnek. Az alábbi ábrán a részletes csoportosítás látható, példákkal ellátva:



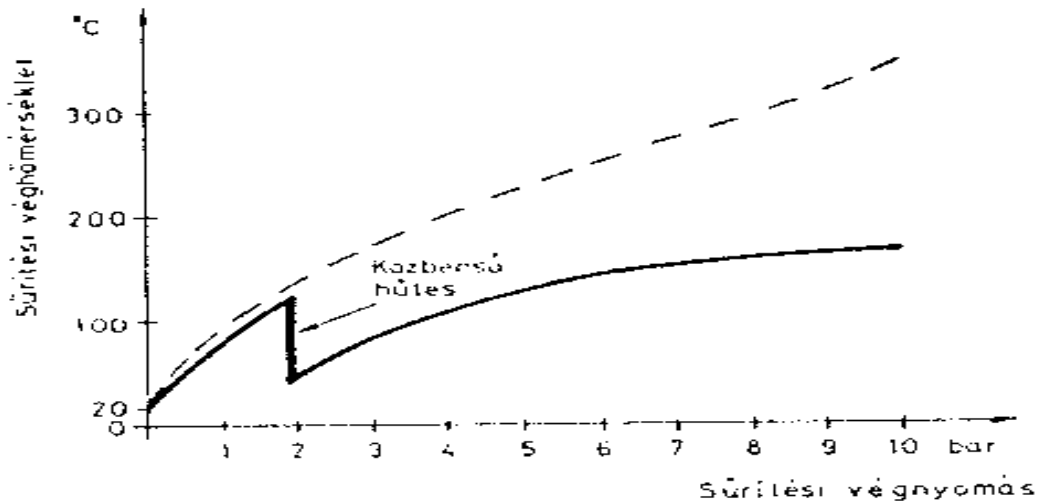
9. ábra: Kompresszorok csoportosítása

(Forrás: *Bevezetés a pneumatikába* – Festo Kft., 2001.)

A HVM pneumatikus berendezéseinek levegőellátásáról kettő Storm 56 típusú direkthajtású csavarkompresszor gondoskodik, egy hűtveszárító berendezéshez kapcsolva.

1.6.4. Sűrített levegő tárolása és szállítása

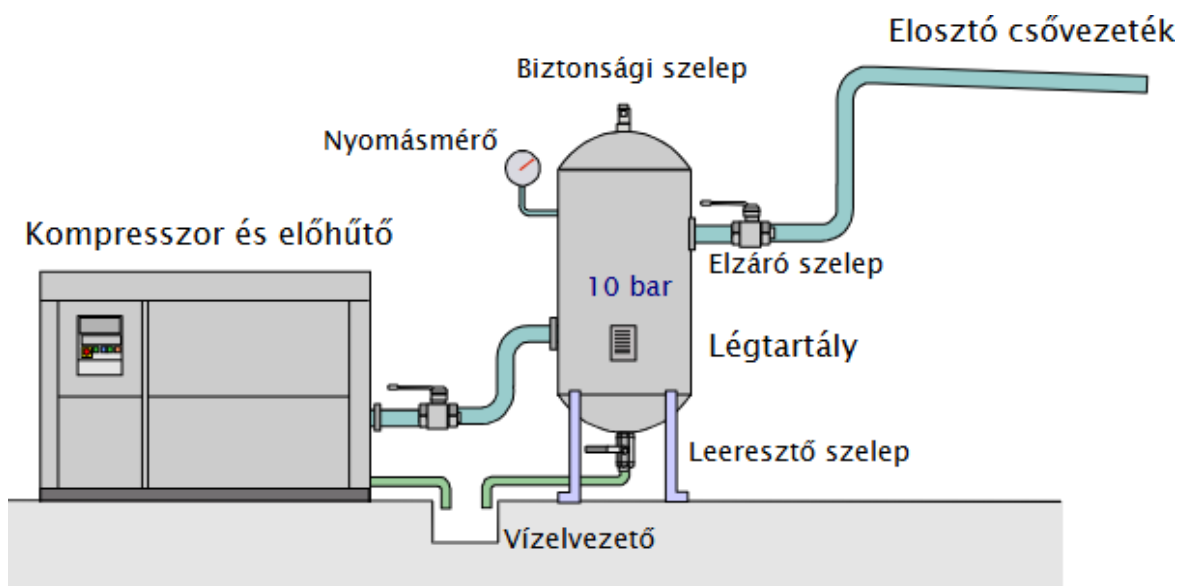
Az előállított sűrített levegő egy puffertartályban tárolódik felhasználásig. A légtartályok feladata az egyenletes levegőellátás biztosítása, illetve a hálózatban keletkező nyomásingadozások kiegyenlítése. Mivel a sűrités során a levegő hőmérséklete megnövekszik, azt hűteni kell a tartályba bekerülés előtt. Az alábbi diagram szemlélteti a sűrített levegő hőmérsékletváltozását a sűritési végnyomás függvényében:



10. ábra: Sűrítési véghőmérséklet és sűrítési végnyomás kapcsolata

(Forrás: Dr. Földi László)

A hőmérsékletváltozás hatására a levegőben található nedvesség kondenzálódik, így szárítás is szükséges. A tartályok nagy méretéből adódóan a levegő nagy felülettel érintkezik tárolás közben, amely hűtő hatást fog eredményezni, ebből kifolyólag további kondenzáció lesz tapasztalható. A kicsapódott nedvességet leeresztő szelepek segítségével ki kell juttatni a levegőhálózatból. Az alábbi ábra szemlélteti a kompresszor és a légtartály kapcsolatát, illetve a szükséges kiegészítő berendezéseket egy sűrített levegőt előállító egységben:



11. ábra: Sűrített levegő előállításának berendezései

(Forrás: Ráczné Lidia – Levegőellátás c. előadás)

A vezetékrendszer kiépítésénél szintén figyelembe kell venni a kicsapódás jelenségét, ezért a csöveket 1-2%-os lejtéssel kell kiépíteni, a leágazásokat pedig minden esetben a csővezetékek felső részein kell létesíteni, elkerülendő a kondenzvíz fogyasztóhoz való eljutását. Ezen felül víztelenítő szelepekkel kell ellátni a csőrendszert a kondenzvíz elvezetése céljából.

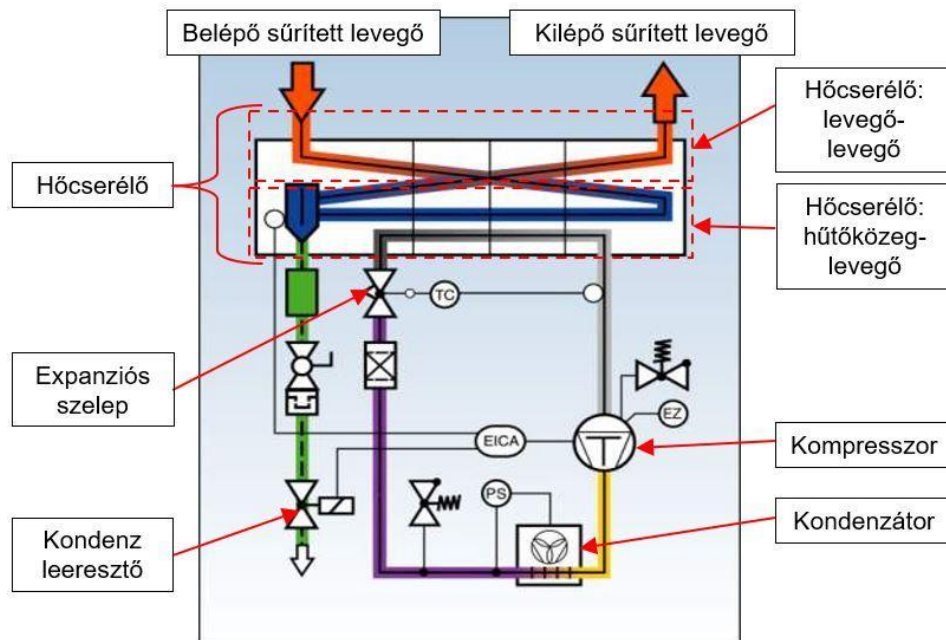
Hálózatok tekintetében a körvezetékes kialakítás a legelőnyösebb. Ez a konstrukció egyenletes ellátást tesz lehetővé lökészerű, nagyobb fogyasztás esetén is, mivel két irányból áramlik ilyenkor a levegő a fogyasztóhoz.

1.6.5. A levegő előkészítése és a kondenzáció kapcsolata

A sűrített levegő tisztasága rendkívül fontos követelmény a pneumatikus rendszerek élettartamának szempontjából. A szennyeződések lehetnek por, olaj, esetlegesen rozsda és nedvesség. A por abrazív kopást eredményez, az olaj megváltoztatja a levegő összenyomhatóságát, míg a rozsda és a nedvesség korrodálja a rendszer elemeit.

A levegő nedvessége a relatív páratartalom függvénye, melyet az időjárás és a hőmérséklet befolyásol. Az *abszolút páratartalom* az 1 m³ levegőben lévő víz mennyiségét adja meg, a *telítettségi érték* pedig az a legnagyobb vízmennyiség, amelyet 1 m³ levegő az adott hőmérsékleten képes felvenni. A *relatív páratartalom* maximálisan 100 % lehet (harmatpont hőmérséklet). Ezen értékek ismeretében a harmatpont görbe használatával számítható és méretezhető a hűtőberendezés.

Három hűtési módszer különíthető el: abszorpciós, adszorpciós és hűtőszárítás. Ezek közül a hűtőszárítás módszere lesz releváns a későbbiekben, elvét az alábbi ábra szemlélteti:



12. ábra: Hűtőszárító berendezés elvi vázlat

(Forrás: imex.szerviztechnika.hu/hutveszarito)

A berendezés a harmatpont-hőmérsékletre történő hűtés elvén működik. Ez az a hőmérséklet, melyre a gázt lehűtve, a benne lévő vízgőz kondenzátum formájában lecsapódik. A szárítandó levegő először a levegő-levegő hőcserélőbe áramlik, itt a hűtőből jövő hideg száraz levegő előhűti a bejövő meleg levegőt. A lecsapódó olaj- és vízkondenzátumot a hőcserélő a csapadékleválasztóba vezeti. Ez az előhűtött levegő a továbbiakban átáramlik a hűtőaggregáton és hőmérséklete megközelítőleg 274,7 K (1,7 °C)-ra csökken. Itt megtörténik az olaj- és vízkondenzátum másodlagos leválasztása. A sűrített levegőt ezután egy finomszűrőn kell átvezetni a maradó szennyeződések leválasztása céljából.

1.6.6. Pneumatikus rendszer jellemzése

A fent leírtak alapján egy pneumatikus rendszer számos elemből tevődik össze, de ahhoz, hogy konkrétan, számok szerint jellemezni lehessen, szükséges néhány paraméter ismerete.

- Üzemi nyomás (p): a sűrített levegős berendezések tervezésekor és üzemeltetésekor elengedhetetlen paraméter. Ez lesz az a nyomás, mely szükséges a munkavégzéshez. A legtöbb pneumatikus rendszer 10 bar-os nyomásra van méretezve.

Számítása a következő képlettel történhet:

$$p = \frac{F}{A} [\text{N/m}^2] = [\text{Pa}]; 1 [\text{bar}] = 10^5 [\text{Pa}]$$

- Amelyből 'F' a felületet nyomó erő; számítása: $F = p * A [\frac{\text{N}}{\text{m}^2} * \text{m}^2; \text{Newton}]$ (1)

- p - nyomás $[\frac{\text{N}}{\text{m}^2}; \text{Pa}]$
- A – a nyomott felület $[\text{m}^2]$

- És amelyből 'A' a felület; számítása: $A = \frac{F}{p} [\frac{\text{N}}{\text{m}^2}; \text{m}^2]$ (2)

- F – felületet nyomó erő [N]
- p – nyomás $[\frac{\text{N}}{\text{m}^2}; \text{Pa}]$
- Levegőigény: ez a szám írja le a berendezés(ek) levegőfogyasztását munkavégzés esetén. Adott nyomású levegő egységnyi idő alatt elfogyasztott mennyisége [l/min; Nm³/min].
- Légszállítás: a kompresszor egység termelőképességét mutatja meg, a levegőigényhez hasonlóan, időegységre vetített normál köbméterben¹ mérve [Nm³/perc]. A kompresszor kiválasztásakor a levegőigény és a légszállítás viszonya a mérvadó (a légszállítás mindig legyen nagyobb, mint az igény!)
- Kapacitás: a rendszerbe beépített puffertartályt jellemző adat [l; m³]. Az adott tároló fizikai méretei mellett mekkora nyomáson, hány liter sűrített levegőt képes tárolni.

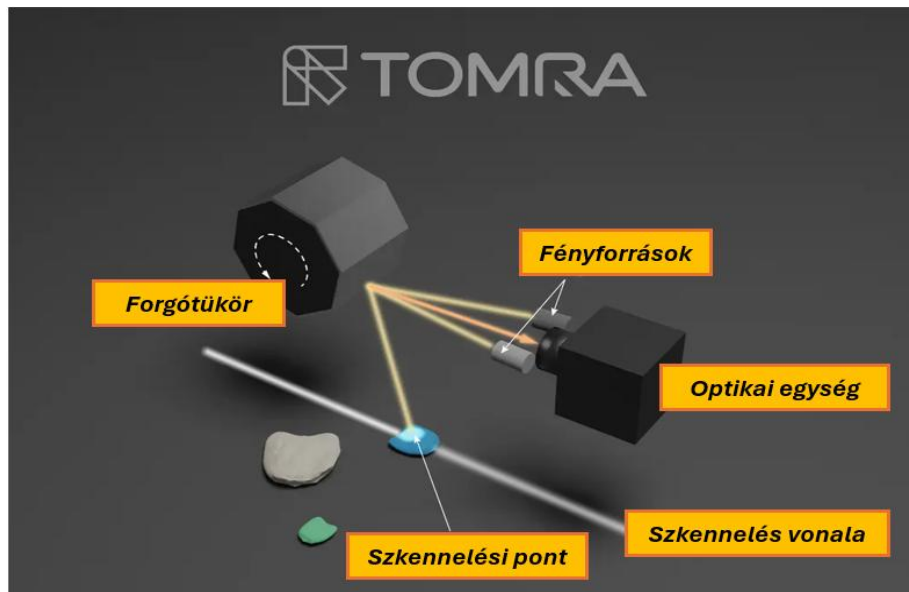
1.7. Az optikai válogatórendszer

Ahogy az előzőekben említésre került, a NIR technológia és a pneumatika ötvözésének köszönhetően a hulladékválogatás folyamata precízen valósítható meg, magas anyagáram tisztasággal. Az alábbiakban a szerkezet működési elve kerül bemutatásra.

1.7.1. Az optikai egység felépítése

A válogató szerkezet lelkét jelenti az infravörös fényforrás és az érzékelőegység. A világítási technológia stabil és homogén fényeloszlást valósít meg a teljes munkaszélességben, így az érzékelőn áthaladó összes anyag azonnal osztályozható. A tartós szortírozási teljesítményt egyidejű fénynyaláb-kalibrálás biztosítja, mely folyamatos jelkorrekcióval valósul meg. A technológia pontszkenelési elv alkalmazásával biztosítja, hogy a szenzorok a szkennelt területről érkező jelekre fókuszáljanak. Az alábbi ábrán az optikai egység felépítése látható:

¹ Gáztechnikai normál köbméter: az a mennyiség, amely 288,15 K hőmérsékleten és 101 325 Pa nyomáson 1 köbméter térfogatot foglal el. (ISO 2533)



13. ábra: Az optikai fejegység felépítése

(Forrás: tomra.com)

A fényforrásokból kibocsátott infravörös fény a forgómozgást végző tükörről verődik a szkenelési vonalra, ahol a szkenelni kívánt tárgyak (esetünkben a hulladékok) haladnak el. A szkenelés pontszerűen történik, a szkenelési pont a tükör forgásának megfelelően fogja helyét változtatni egy egyenes mentén. A tárgyról a fény visszaverődik a tükörrre, ahonnan a fénysugár visszajut az optikai egységbe, melyben a szenzor és a jelfeldolgozó egység található. Az egységben ezen felül két Deep Laiser (DLA) fényforrás-egység található, az első 640 nm, míg a második 660 nm hullámhosszúságú lézert bocsát ki. A DLA az előtér és háttér érzékelésre, illetve az alakfelismerésre (alak szerinti osztályozás) használatos (TOMRA gépkönyv).

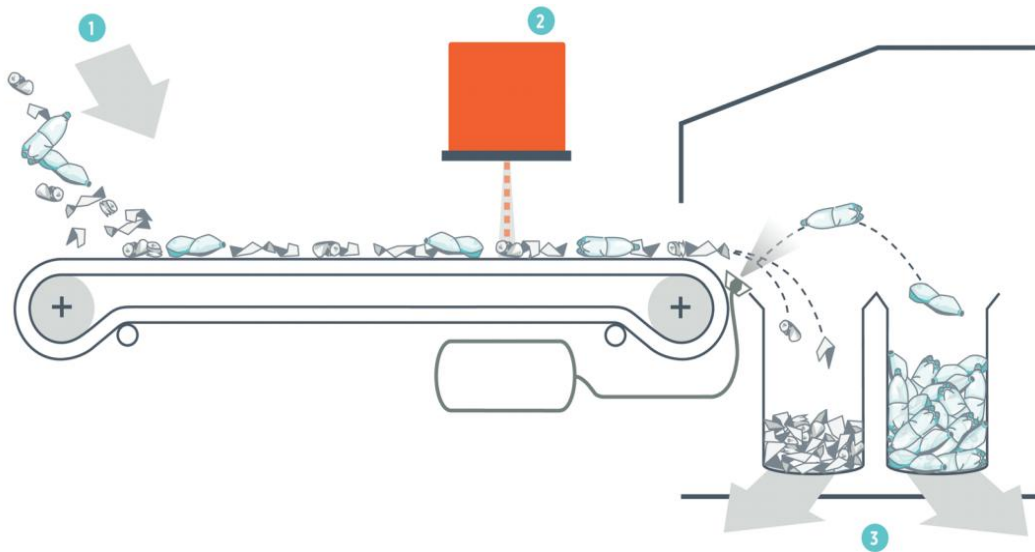
1.7.2. A berendezés működése

A berendezés egyenletesen, előre beállított sebességgel adagolja a bemenő anyagot a szállítószalagra, ahol egy vagy több optikai érzékelő érzékeli azt.

A korábban bemutatott optikai egység eközben elvégzi az infravörös fény kibocsátását, majd a visszaverődött fény érzékelése során az anyagok különböző spektrális és/vagy alaki tulajdonságait kiértékeli a számítógépes jelfeldolgozó egység. A szállítóberendezés végére számos, külön szeleppel ellátott szeleptömb van szerelve.

Ha az érzékelőrendszer kidobandó anyagot észlel, a külön szelepek kinyílnak pontosan az érzékelt helyen, és az anyag kidobásra kerül a sűrített levegő segítségével. A kiválogatott anyag két frakcióra oszlik az elválasztókamrában, vagy az üzem felépítésétől függően két külön szállítószalagon folytatja útját az anyag a válgatósor vége felé.

Az alábbi ábra a berendezés felépítését és működését mutatja be:



14. ábra: A szeparátor egység felépítése

(Forrás: Tomra Autosort optikai szeparátor gépkönyv)

A szállítószalagra érkező anyagáram (1), az optikai egység (2) és a szeparált anyagfrakciók (3). A szállítószalag vezérlése folyamatos összefüggésben van az optikai jelfeldolgozó egységgel, így a frekvenciaváltós szabályzású hajtómű mindig a kívánt sebességgel továbbítja a szalagot.

Az eddigiekben tehát áttekintésre került a téma által érintett területek bemutatását segítő szakirodalom. A továbbiakban a fejlesztésről lesz szó.

2. Anyag és módszer

2.1. HVM válogatási folyamatának bemutatása

A következőkben a vizsgálat tárgyául szolgáló üzem bemutatására kerül sor, a napi használatban lévő technológiai egységekről és azok feladatáról lesz szó.

A Hulladékválogató Mű a szelektív hulladékok utóválogatására jött létre, azonban a DRS bevezetése az üzem rendeltetését átformálta. A válogatáshoz szükséges berendezések a szelektív hulladékokra lettek méretezve és a gépsor felépítése is ezt az elvet követte, így előválogatásra és válogatásra szolgáló berendezések különíthetők el.

2.1.1. Előválogató berendezések

A HVM-be beérkező zsákos DRS hulladék először a zsákbontóba kerülne, azonban a DRS zsákok anyaga erősebb, mint amire a zsákbontó méretezve lett, így kézi bontás szükséges. Ezt követően homlokrakodóval kerül feladásra a hulladék a zsákbontótól induló ferde felhordóra, ahonnan a dobrostába jut. Az ábrán (15. ábra) a dobrosta utáni futószalagok és a válogatósor főbb elemei láthatóak.



15. ábra: HVM válogató gépsora

(Forrás: saját készítés)

A dobrosta eredetileg azzal a céllal került beépítésre, hogy a meglehetősen vegyes összetételű szelektív hulladékot méret szerint lehessen előválogatni. Ez azért szükséges, mivel a válogatósor adottságaiból kifolyólag csak egy adott mérettartományba eső anyagáram mehet keresztül a berendezéseken. Az ezen méretnél nagyobb, vagy jóval kisebb hulladékok a homogenitás céljából kerültek kivételre az anyagáramból. A dobrosta jelenleg a PET palackok

kupakjait képes szeparálni az anyagáram többi részétől, ennél nagyobb mértékben nem lehet bevonni a válogatási folyamatba DRS esetén.

2.1.2. Válogató berendezések és utóválogatás

Az előválogatást követően történik a mágnesezhető hulladékok leválasztása egy mágnesszalag segítségével. A tovább haladó alumínium és PET anyagok ezután optikai szeparátorokkal kerülnek szétválasztásra. A fennmaradó PET anyagáram ezután a ballisztikus szeparátoron tisztul meg a címkéktől, illetve az esetlegesen fennmaradt kupakoktól, majd a további optikai szeparátor egységeken a szín szerinti válogatás megy végbe (16. ábra, szürke-narancssárga színű berendezések).

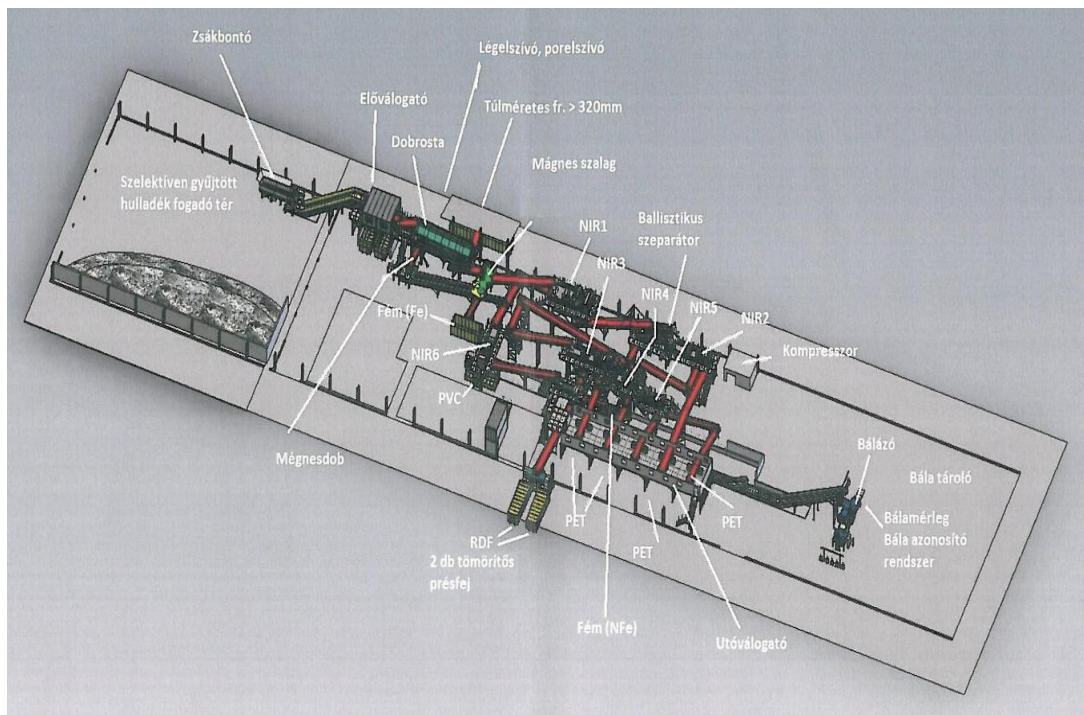


16. ábra: Szín szerinti válogatást végző optikai szeparátor egységek
(Forrás: saját készítés)

Mivel a másodnyersanyagként történő anyagértékesítéshez elengedhetetlen a magas anyagtisztaság, így a HVM berendezéseinek megbízható üzemeltetése is ezt a célt szolgálja. A megfelelően beállított berendezések nagyságrendileg 90% -os anyagáram-tisztaságot biztosítanak. Kézi utóválogatást alkalmazva azonban elérhető a 98%-os anyagáram-tisztaság, mely értékes másodnyersanyaggá teszi a HVM-ből kikerülő válogatott DRS hulladékot.

A válogatást követően az anyagáramok külön-külön bálázásra kerülnek egy bálázó berendezés segítségével, majd további felhasználásra elszállítják azokat.

Az alábbi ábrán a válogatósor virtuális modellje látható, ahol megfigyelhető az imént bemutatott válogató egységek egymáshoz viszonyított pozíciója, illetve kivehető a felépítés logikai menete, a válogatás folyamata szerint.



17. ábra: HVM virtuális modellje

(Forrás: MOHU)

2.1.3. A sűrített levegővel működtetett berendezések

A fentebb bemutatott válogatóberendezések közül a NIR optikai szeparátor egységek jelentős sűrített levegő igénnyel rendelkeznek, a szeparátor egység bemutatása során ismertetett válogatási technológiából kifolyólag. Az üzemben hat darab optikai szeparátor egység található, egyező kivitelben. Mivel a válogatási folyamat gerincét adják ezek a berendezések, így a megfelelő működéshez elengedhetetlen a megfelelő sűrített levegőellátás.

A válogató üzem tervezésekor a válogató gépsort és az optikai szeparátorok levegőigényét a lakossági szelektív hulladék szétválogatására méretezték, majd az üzemet átállították DRS hulladék válogatására. Az átállás következtében a gépsor nem került módosításra, azonban a sűrített levegő igény jelentősen megnövekedett a válogatási folyamatban.

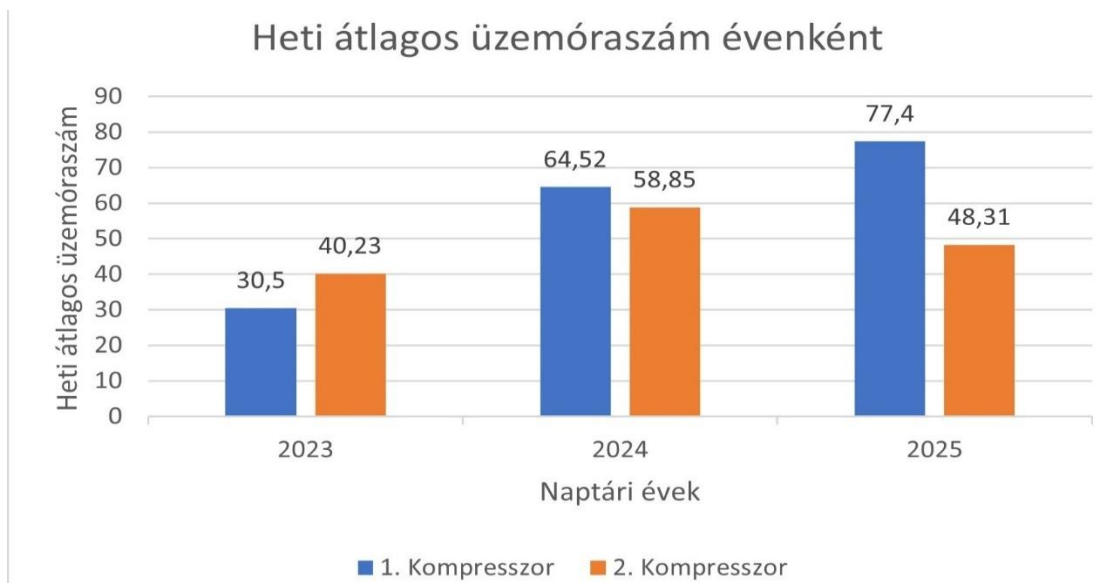
Ebből kifolyólag a sűrített levegős hálózat analízisét fogom elvégezni, megvizsgálva a rendelkezésre álló gépészeti egység teljesítményét, kihasználtságát és a válogatásban résztvevő szeparátorok levegőigényét. A vizsgálati módszer egy sűrített levegős hálózat méretezését taglalja, ahol a rendelkezésre álló műszaki paramétereket és üzemeltetési adatokat használok fel.

3. Eredmények

3.1. Levegős hálózat üzemi jellemzői

A HVM tervezésekor a gépsor és az azt kiszolgáló berendezések a lakossági szelektív hulladék feldolgozására lettek méretezve. A hulladék válogatására 6 darab optikai szeparátor egységet és azok kiszolgálására kettő darab csavarkompresszort építettek be a technológiai sorba. Az egységek illesztésekor a szeparátorok igényeit és a kompresszorok teljesítményét megvizsgálva egy biztonsági tényezővel ellátott, stabil üzemelést lehetővé tevő rendszer kiépítésére került sor.

Ez a kiépített rendszer azonban nem bizonyult elégségesnek. A levegőellátásról kettő, fix fordulatszámon üzemelő, 55 kW teljesítményű Storm 56-10 típusú csavarkompresszor gondoskodik, amiből az egyik redundáns² gép szerepet töltene be. Ehhez képest az üzemelési adatokból egyértelműen kimutatható, hogy a két kompresszor párhuzamos üzemre kényszerül az üzemidő túlnyomó részében. Az alábbi diagram szemlélteti a kompresszorok évenkénti átlagos heti üzemóraszámát.



18. ábra: Kompresszorok üzemóra adatai

(Forrás: saját készítés, HVM üzemeltetési adatok alapján)

Az adatokat elemezve egyértelműen látszik, hogy a 2024-es évben a DRS feldolgozásból eredően megnőtt a kompresszorok üzemideje, így az éves üzemóra-növekmény is szemmel láthatóan változott.

² Redundáns rendszerben a redundáns gép párhuzamosan üzemel az elsődlegessel, így annak meghibásodása esetén képes átvenni feladatát, a termelést nem kell leállítani a javítás idejére.

3.2. Levegős hálózat méretezése

Egy sűrített levegős hálózat méretezésekor számos tényezőt figyelembe kell venni, hiszen egy összetett rendszert kell kiépíteni, különböző paramétereknek megfelelően.

Az alapvető méretezési szempontok a következők:

- A levegőigény meghatározása
 - Légfogyasztás: Nm^3/h vagy l/min mértékegységben kifejezve
 - Folyamatosan üzemelő fogyasztók
 - Szakaszos üzemű fogyasztók: ciklusok, átlagos és maximális levegőigény
 - Nyomásigény: legnagyobb nyomás és a hálózat minimális üzemi nyomása
 - Tartalék és bővíthetőség: Biztonsági tényezőként 25%-os tartalékkal érdemes számolni a méretezéskor.

A fogyasztók és a fogasztók igényeinek pontos ismeretében lehet megkezdeni a tényleges méretezési folyamatot, ahol a termelő egység és a levegő kezeléséért felelős egységek kiválasztása történik meg.

A kiválasztást segítő szempontok egységenként:

A, Kompresszor

- Típus: az üzemi körülményekhez illeszkedő kompresszortípus – csavarkompresszor nagy levegőigény esetén; dugattyús kompresszor szakaszos, alacsonyabb levegőigény esetén.
- Légszállítás: a kompresszor térfogatáramának ($Q / V = \text{m}^3/\text{h}$ vagy l/min) meg kell haladnia a számított teljes levegőigényt (tartalékkal együtt).
- Üzemi nyomás: a nyomásnak meg kell felelnie a maximális nyomásigénynek, illetve a hálózati nyomásesés ellensúlyozására is elegendőnek kell lennie.

B, Levegőkezelés (tisztítás, szárítás)

A sűrített levegőben lévő nedvesség és olaj károsítja a berendezéseket (szelepek, dugattyúk), így száraz és tiszta levegő szükséges a pneumatikus munkavégzők pontos és megbízható működéséhez.

- Légszárító:
 - Hűtve szárító: az iparban legelterjedtebb, alacsonyabb beruházási költségű megoldás.

- Adszorpciós szárító: érzékeny technológiai folyamatoknál és kültéri vezetékeknél alkalmazott megoldás.
- Szűrők: a por, olaj és olajgőz eltávolítására.

C. Légtartály

- Méret: A tartály biztosítja a sűrített levegő átmeneti tárolását, kiegyenlíti a hálózati nyomásingadozásokat, és a kompresszor számára lehetővé teszi a ciklikus ki- és bekapcsolást (kevesebb terhelés, alacsonyabb üzemóra szám).
- Elhelyezés: Általában a kompresszor és a szárító közé helyezik a kondenzátum kiválasztásának segítésére, ugyanis a tartály nagy felülete hőmérsékletváltozást idéz elő a levegőnél.

A következő lépés a hálózat típusának, vagy topológiájának megválasztása. Itt figyelembe kell venni, hogy a nyomásveszteségek mit eredményezhetnek, illetve a csőhálózatban kialakuló hőmérsékletkülönbség hatására kicsapódó nedvesség elvezetéséről is gondoskodni kell megfelelő pontokon.

Két típusú hálózati elrendezés lehetséges:

- Gyűrűs hálózat: Ez a legjobb megoldás a stabil nyomás biztosítására, mivel a levegő két irányból áramolhat a felhasználási pont felé. Ez biztosítja az egyenletes ellátást és a karbantartás lehetőségét a rendszer leállítása nélkül.
- Elágazó hálózat: Kisebb üzemekben használható, de a lánc végén lévő fogyasztók nyomáseséssel küzdhetnek, mivel ebben az esetben a fogyasztók az áramkörökben ismert soros kapcsoláshoz hasonlóan kerülnek a rendszerbe beépítésre.

Ezután a fentebb is említett kondenzátum figyelembevételével kell a csövek anyagát, térbeli helyzetét vizsgálni, hogy a legkedvezőbb kialakítást érjük el:

- Csőanyag és méretezés
 - Anyag: legelterjedtebb megoldás a speciális alumínium vagy a horganyzott acél, esetleg rozsdamentes acél, vagy nagy sűrűségű polimerek. Kerülni kell a korrodálásra hajlamos anyagok alkalmazását, mint például a réz.
 - Csőátmérő: egy igen fontos szempont, mivel a túl kicsi átmérő nagy nyomásesést okoz, ami rontja a berendezések teljesítményét és növeli a kompresszor energiafogyasztását. A berendezések csatlakozóméretei mérvadók lehetnek.

- Kondenzátum elvezetése
 - Ejtés: A fővezetékét enyhén, kb. 1-2%-os eséssel kell tervezni a levegő áramlásának irányába, ezzel is segítve a kondenzátum folyását a víztelenítési helyekre.
 - Víztelenítő csapok: A kondenzátum összegyűjtésére a hálózat mélypontjain (pl. a légtartály, szűrők alatt és a csővezeték végén) automata kondenzátum-leeresztőket kell elhelyezni. Ezeket szükség esetén manuálisan is tudni kell működtetni.
 - Fővezeték megcsapolása: A levegőt a fővezeték felső harmadából (a cső tetejéről) kell elvenni, elkerülve a leülepedett kondenzátumot.

A végső lépés pedig már a megbízható üzemeltetést és a rendszeres karbantartási terv elkészítését taglalja. Fontos, hogy a hálózatot üzemeltető személyzet minden esetben ismerje az előírás szerinti karbantartási tervet. A legfontosabb és a megelőzésben legnagyobb szerepet betöltő tevékenység az ellenőrzés, ez elengedhetetlen.

Az alábbi pontok alapján egy általános karbantartási stratégia készíthető:

- Tömörség ellenőrzése: a szivárgások a sűrített levegős rendszerek legnagyobb energiafogyasztói, a csövek illesztéseinél, a csatlakozási pontoknál gyakran fordul elő tömörtelenség. Érdemes eszközölni a rendszeres ultrahangos szivárgásvizsgálatot és az eredmények alapján a szükséges javításokat.
- Szűrőcsere: a sűrített levegő minőségének megőrzése és a nyomásesés minimalizálása érdekében az előírásoknak megfelelő ciklusonként cserélni kell a különböző szűrőbetéteket (előszűrő, mikroszűrő, aktívszén szűrő)
- Mérőpontok: a kompresszoroknál, légtartályoknál és fogyasztóknál beépített mérőpontok (főként nyomásmérő órák) nagyban hozzájárulnak a teljesítmény monitorozásához és az esetleges hibák gyors felderítéséhez. Ha több ponton van beépített mérőműszer, akkor a helyi meghibásodások gyorsabban felderíthetők.

Az ismertett lépések alapján tehát elvégezhető egy léghálózat méretezése, illetve a kiépítés után már az üzemeltetés is biztonságosan megoldható a megfelelő karbantartási terv szerint.

3.3. A napi használatban lévő sűrített levegős hálózat vizsgálata

A HVM építésekor történt méretezés eredménye számomra nem ismert, ezért a fentebb felsorolt lépések mentén haladva a jelenlegi hálózat paramétereinek felhasználásával fogom a méretezés főbb lépéseit újra elvégezni. Ehhez szükséges a fogyasztók, jelen esetben az optikai

szeparátorok légfogyasztásának ismerete. Ez az adat nehezen behatárolható, így a gyártótól kapott érték lesz a mérvadó. Ezen felül a már üzemelő kompresszorok paraméterei is ismertek számunkra, így a folyamat végén megtudjuk, elégséges-e a jelenlegi rendszer levegőellátása.

3.3.1. HVM léghálózatának jelenlegi elemei

- Fogyasztók:

Hat darab Tomra Autosort típusú optikai szeparátor

- Üzemi nyomás: 6 bar
- Átlagos légfogyasztás gépenként: 2,52 Nm³/min
- Összes légfogyasztás: 15,12 Nm³/min

Ezek az adatok közelítő jellegűek, tekintettel arra, hogy a tényleges légfogyasztás függ az anyagáram sűrűségétől, a szállítószalag sebességétől és az anyagáram összetételétől is. Emellett a végső számításnál egy számokban nehezen mérhető, egyéb pneumatikus eszközök fogyasztásából, tömörtelenségéből adódó fogyasztási értéket is fel kell venni, illetve a biztonsági tényező is alkalmazandó.

- Kompresszorok:

Kettő darab Storm 56-10 típusú csavarkompresszor, fix fordulatszámmal

- Maximális üzemi nyomás: 10 bar
- Normál üzemi nyomás: 9 bar
- Légszállítás normál üzemi nyomáson: 8,3 Nm³/min/db; összesen 16,6 Nm³/min
- Teljesítmény: 55 kW/gép, összesen 110 kW

A feltüntetett légszállítási adat a DIN 1945 (ISO 1217) szabvány szerint megadott érték, így a Normálköbméter/órában megadott érték 9 baros üzemi nyomáson valós szállítási mennyiséget mutat!



19. ábra: A két kompresszor (balra) és a hűtve szárító egység (jobbra)

(Forrás: saját készítés)

- Légszárító berendezés:

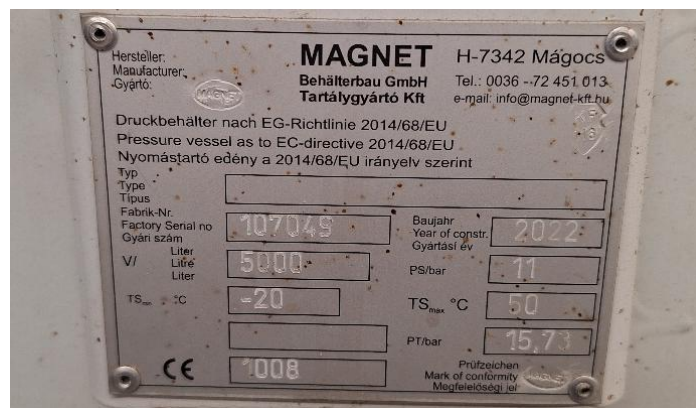
Egy darab MTA Dry Energy DEIT 270 típusú hűtve szárító

- Maximális üzemi nyomás: 16 bar
- Normál üzemi nyomás: 7 bar
- Légteljesítmény normál üzemi nyomáson: 27 Nm³/min
- Teljesítmény: 3,33 kW

- Légtartály:

Egy darab álló tartály

- Térfogat: 5000 l
- Maximális üzemi nyomás: 11 bar



20. ábra: A légtartály gyári táblája

(Forrás: saját készítés)

- Kondenzátum-kezelő berendezés:
Egy darab Sepremium olaj-víz szeparátor
 - Maximális légszállítás: 20 Nm³/min
- Elő- és utószűrők:
Kettő darab HEF 094 szűrőautomata

Az ismert paraméterek felhasználásával tehát a méretezési számítások elvégezhetőek, az ehhez szükséges összefüggésekkel.

3.3.2. Összes levegőigény (térfogatáram) számítása

Jele: V; mértékegysége: Nm³/min (normál köbméter/perc)

$$V_{\text{össz}} = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5 + V_6 \text{ [m}^3\text{/min]}$$

$$V_{\text{össz}} = 0,84 \text{ Nm}^3\text{/min} + 1,8 \text{ m}^3\text{/min} + 1,92 \text{ m}^3\text{/min} + 1,32 \text{ m}^3\text{/min} + 2,4 \text{ m}^3\text{/min} + 6,84 \text{ m}^3\text{/min} = \mathbf{15,12 \text{ m}^3\text{/min}^*}$$

**A felsorolt értékek az eredeti hálózat méretezésekor megadott adatok, biztonsági tényező alkalmazásával kerültek megadásra.*

Ez az érték azonban nem tekinthető a jelenlegi levegőigénnyel egyezőnek, hiszen ahogy a korábbiakban a kompresszorok üzemórát felsorakoztató ábrán is láthattuk, a gépcsoport heti átlagos üzemóraszámja jelentősen megnövekedett, ami a levegőigény megnövekedését jelenti jelen esetben. A 2024-es és 2025-ös adatok közel 50%-os üzemóraszám-növekményt, azaz ezzel analóg módon levegőigény növekedést mutatnak, így az előbbieken kapott értéket még 1,5-del meg kell szorozni, azaz 150%-kal kell „növelni”.

A valós levegőigény tehát:

$$V_{\text{valós}} = V_{\text{össz}} * 1,5 = 15,2 \text{ m}^3\text{/min} * 1,5 = \mathbf{22,8 \text{ m}^3\text{/min}}$$

3.3.3. Összes légszállítás számítása

A kompresszorok gépkönyvében is megadott 8,3 Nm³/min érték tehát a korábbiakban jelzett szerint egy valós térfogatáram értéket ad m³/min-ben kifejezve, így tehát a valós, szállított térfogatáram adott. Figyelembe kell azonban venni, hogy a fogyasztó berendezések 6 baros üzemi nyomáson üzemelnek, így a 6 baron jelentkező levegőigény értékét össze kell vetni a kompresszor által szállított levegő mennyiségével szintén 6 bar nyomáson. Mivel a gépcsoport

beállítása 9 barig termeli a levegőt a puffertartályba, majd a fogyasztók onnan kapják a folyamatos ellátást, a kompresszorok elméletben a 9 bar elérése után kikapcsolnak, majd egy beállított nyomásesést követően, még 6 bar elérése előtt, újra bekapcsolnak és termelni kezdenek.

Emiatt át kell konvertálni a kompresszor légszállítását 6 baros nyomásértékre is:

$$\text{Abszolút nyomás 9 baron: } p_{\text{abs},1} = 9 \text{ bar}_{\text{túl}} + 1 \text{ bar}_{\text{légk}} = 10 \text{ bar}$$

$$\text{Abszolút nyomás 6 baron: } p_{\text{abs},2} = 6 \text{ bar}_{\text{túl}} + 1 \text{ bar}_{\text{légk}} = 7 \text{ bar}$$

$$\text{Térfogatáram 6 bar nyomáson: } V_2 = ?$$

$$\text{Térfogatáram 9 bar nyomáson: } V_1 = 8300 \text{ l/min}$$

$$\text{Összefüggés: Boyle-Marriot törvénye; } p_1 * V_1 = p_2 * V_2$$

$$\text{Ezt átalakítva: } V_2 = \frac{p_1 * V_1}{p_2} = \frac{10 \text{ bar} * 8300 \text{ l/min}}{7 \text{ bar}} \approx 11857 \text{ l/min}$$

Mivel kettő darab kompresszor került beépítésre, így az értéket kettővel megszorozva kapjuk a végleges szállítási térfogatáramot:

$$V_{\text{száll}} = 11857 \text{ l/min} * 2 = 23714 \text{ l/min} = 23,714 \text{ m}^3 / \text{min} = 1422,84 \text{ m}^3 / \text{h}$$

Az így kapott érték tehát a kompresszorok által 6 baron szállítható maximális térfogatáramot mutatja. Ugyanezt a számítást elvégezhetjük fordítva is, 9 bar-ra konvertálva a fogyasztási értékeket:

Fogyasztási értékek 9 baros nyomáson:

$$\text{Abszolút nyomás 9 baron: } p_{\text{abs},1} = 9 \text{ bar}_{\text{túl}} + 1 \text{ bar}_{\text{légk}} = 10 \text{ bar}$$

$$\text{Abszolút nyomás 6 baron: } p_{\text{abs},2} = 6 \text{ bar}_{\text{túl}} + 1 \text{ bar}_{\text{légk}} = 7 \text{ bar}$$

$$\text{Térfogatáram 6 bar nyomáson: } V_2 = 22800 \text{ l/min}$$

$$\text{Térfogatáram 9 bar nyomáson: } V_1 = ?$$

$$\text{Összefüggés: Boyle-Marriot törvénye; } p_1 * V_1 = p_2 * V_2$$

$$\text{Ezt átalakítva: } V_1 = \frac{p_2 * V_2}{p_1} = \frac{7 \text{ bar} * 22800 \text{ l/min}}{10 \text{ bar}} \approx 15960 \text{ l/min} = 15,96 \text{ m}^3 / \text{min}$$

3.3.4. Légtartály vizsgálata

A puffertartályba belepréselhető levegő mennyiségét a $p \times V$ szorzat alkalmazásával számíthatjuk ki:

Sűrített levegő üzemi nyomása: $p = 9 \text{ bar}$

Térfogat: $V = 5000 \text{ liter}$ (1 bar légköri nyomású levegő esetén)

$$V_{\text{bepréselhető}} = 9 \text{ bar} * 5000 \text{ liter} = 45\,000 \text{ liter} = 45 \text{ m}^3$$

Az adatokat és az eredményeket összevetve a következő mondható el:

- A légfogyasztás értéke kisebb, mint a légszállítás értéke
 - 6 bar nyomáson: $V_{\text{fogy},6} < V_{\text{száll},6} \rightarrow 22,8 \text{ m}^3/\text{min} < 23,714 \text{ m}^3/\text{min}$
 - 9 bar nyomáson: $V_{\text{fogy},9} < V_{\text{száll},9} \rightarrow 15,96 \text{ m}^3/\text{min} < 16,6 \text{ m}^3/\text{min}$
- A légtartály kapacitása 9 bar nyomáson 45 000 liter, amely kapacitás abban az esetben használható ki, ha a kompresszorok a megadott kapcsolási szám szerinti szakaszos üzemre képesek. Kiszámítható, hogy ezt a levegőmennyiséget mennyi idő alatt képes a két kompresszor feltermelni:

$$V_{\text{bepréselhető}} = 45\,000 \text{ liter}$$

$$V_{\text{száll},9} = 16\,600 \text{ liter / min}$$

$$t_{\text{töltési}} = \frac{45\,000 \text{ liter}}{16\,600 \frac{\text{liter}}{\text{min}}} = 2,71 \text{ min} \approx 2 \text{ min } 43 \text{ s}$$

- A számított értékek alapján a két kompresszor által feltermelt puffertartály 45 000 liter 9 bar nyomású sűrített levegő tárolására képes. Ez a mennyiség egy ki- és egy bekapcsolási időszak között képes ellátni a rendszer fogyasztóit sűrített levegővel. A kapcsolási idő az alábbiak szerint számítható:

Normál nyomás: $p_{\text{normál}} = 1 \text{ bar}$

Tartály térfogata: $V_t = 5000 \text{ liter} = 5 \text{ m}^3$

Kikapcsolási nyomás: $p_1 = 9 \text{ bar}$

Bekapcsolási nyomás: $p_2 = 6,5 \text{ bar}$

Bekapcsolási nyomáskülönbség: $\Delta p = p_1 - p_2 = 9 - 6,5 = 2,5 \text{ bar}$

Felhasználható levegő térfogata két bekapcsolás között:

$$V_{felh} = V_{tartály} * \frac{\Delta p}{p_{normál}} = 5 \text{ m}^3 * \frac{2,5 \text{ bar}}{1 \text{ bar}} = 12,5 \text{ Nm}^3$$

A két bekapcsolás közt felhasználható levegő térfogata tehát 12,5 Nm³ ami a számítás sajátosságaitól eltekintve a valós, felhasználható levegőmennyiséget mutatja. Ebből a kapcsolási idő:

$$t_{bekapcsolási} = \frac{V_{felh}}{V_{fogy}} = \frac{12,5 \text{ Nm}^3}{22,8 \frac{\text{Nm}^3}{\text{min}}} \approx 0,548 \text{ min} = 32,9 \text{ sec}$$

A számítási eredmény kimutatja, hogy a kompresszorok jelen felhasználása mellett a kapcsolási idő 32,9 másodperce csökkent. A rendszer beállításainak megfelelően ez a kapcsolási időintervallum módosítható, emiatt az egyik kompresszor általában folyamatos üzemre van kapcsolva, míg a redundáns kompresszor ugyan szakaszosan, de rádolgozik a primer kompresszorra.

3.3.5. Egyéb berendezések vizsgálata

A rendszer részét képező levegőkezelésért felelős berendezések – hűtve szárító, kondenzátumkezelő – a jelenlegi üzemi paraméterek alapján megfelelnek a rendszerigényeknek. Azok módosítása abban az esetben szükséges, ha a léghálózat fejlesztése során egy újabb kompresszor és egy légtartály bépítésre kerül, hiszen abban az esetben a légszállítás – bizonyos üzemi körülmények között – megnövekedhet, így a nagyobb sűrített levegő mennyiség kezelésére több levegőkezelő-berendezés együttes üzeme esetén lesz lehetőség.

A rendszer paramétereit és a valós üzemeltetési adatok alapján elvégzett számításokkal a HVM sűrített levegős hálózatának analízise megtörtént, a következő fejezetben az általam megfogalmazott következtetések, javaslatok olvashatóak.

4. Következtetések, javaslatok

4.1. Hálózat vizsgálatának eredménye

Az előző fejezetben elvégzett vizsgálatom célja az elégséges működés, illetve a gépészeti berendezések esetleges túlterheltségének kimutatása volt. A vizsgálat eredménye pontokba szedve:

- A kompresszorok éves heti üzemóra kimutatásainak éves szinten történő átlagolásával kiderült, hogy a gépcsoport közel másfélszeres kihasználtsággal üzemelt a 2024-es évben, illetve az idei, 2025-ös év eddigi időszakában, a kezdeti, 2023-as üzemelési adatokhoz viszonyítva. Ez közel másfélszeres üzemóra-növekményt jelent a gépek számára, ami a karbantartási ciklusokat is befolyásolja.
- A jelenlegi sűrített levegős hálózatban található fogyasztók száma a rendszer kiépítése óta nem változott, de a sűrített levegő igény az előbbieken ismertetett adatokra reflektálva közel másfélszerese a kezdetileg kalkulált adatoknak, ami a feldolgozandó anyagáram megnövekedett mennyiségét tükrözi.
- Az üzem eredetileg meghatározott rendeltetésétől való eltérő felhasználása megkövetelte, hogy a kezdeti egyszer 8 órás műszakot kétszer 8 órás műszakokra cseréljék, ezzel is kevesebb időt hagyva a karbantartások elvégzésére.
- A kopóalkatrészek a megnövekedett kihasználtságból kifolyólag hamarabb érnek el élettartamuk végére, gyakoribb a fődarabok csereigénye, a kenőanyagok csereperiódusa pedig technikailag lerövidül.
- A rendszer kiépítésekor alkalmazott két kompresszoros elv célja, hogy míg az elsődleges kompresszor paramétereiből adódóan elégségesen képes ellátni a válogatóberendezéseket levegővel, addig a második kompresszor redundáns szerepet tölt be. Ezzel a megoldással egy esetleges komolyabb meghibásodás esetén is biztosítható a termelés zavartalansága, illetve a két gép felváltva üzemeltethető, ezzel kiegyenlítve a berendezések kopását, elhasználódását. A megnövekedett levegőigény ezt az üzemeltetési formát nem teszi lehetővé, a két kompresszor csak együttesen képes ellátni az üzem levegőigényét.
- Jelen körülmények között a termelés zavartalansága csak két üzemelő kompresszossal biztosítható, meghibásodás esetén a termelés leáll.

4.2. Javaslatok

A fenti megállapítások fényében az üzem pneumatikus hálózatának fejlesztése szükséges. Ahogyan azt korábban megfogalmaztam, a hálózatban jelenleg üzemelő kompresszorok biztonságosan nem tudják kiszolgálni az üzemben mutatkozó termelési igényeket, így egy új kompresszor és egy új puffertartály beszerzése szükséges. Ezen kompresszornak olyan paraméterekkel kell rendelkeznie, amelyek lehetővé teszik a jelenlegi hálózatba történő illesztését, valamint a korábbi redundáns funkció helyett hideg tartalékként üzemeltethető, tehát meghibásodás esetén azonnal indíthatónak kell lennie. A fejlesztés során beszerzendő egységek pontokba szedve, paraméterekkel:

- Kompresszor
 - Kivitel: csavarkompresszor
 - Maximális üzemi nyomás: 10 bar
 - Üzemi nyomás: 9 bar
 - Légszállítás: 8,3 Nm³/min
 - Fordulatszám szabályozás: frekvenciaváltós fordulatszám szabályozás
 - Villamos teljesítmény: 55 kW

- Puffertartály
 - Térfogat: 5000 liter
 - Maximális üzemi nyomás: 11 bar

A harmadik kompresszor beépítése esetén előállhat, hogy esetlegesen a három berendezés egyszerre üzemel. Ebben az esetben a megnövekedett légszállítást a jelenlegi egység nem lesz képes kiszolgálni. Emellett, ha a jelenlegi légszárító meghibásodna, akkor a termelés szintén leállna, mivel nem áll rendelkezésre redundáns, tartalék szerepet betöltő egység. Ebből kifolyólag egy, a korábban beépített berendezéssel egyező teljesítményű egység beépítését javaslom:

- Hűtve szárító egység
 - Légteljesítmény: 27,00 Nm³/perc
 - Normál üzemi nyomás: 7 bar
 - Max. üzemi nyomás: 16 bar
 - Hűtőkompresszor villamos teljesítménye: 3,33 kW

A felsorolt berendezések mellett a kondenzátumkezelésre egy darab olaj-víz szeparátor és egy elő- illetve egy utószűrő beépítése is szükséges, automata kondenzvíz-leeresztéssel.

4.3. Kompresszor egység beszerzésének menete

A kompresszor kiválasztása hagyományos esetben diagram alapján történne, az üzemi paramétereknek megfelelően. Ettől eltérően az üzemeltetési tapasztalatokra hagyatkozva érdemes a már ismert és bevált konstrukciók újbóli beszerzése mellett dönteni.

A Storm 56-10 csavarkompresszor egy olyan konstrukció, amely az évek alatt bizonyított, a rendszerbe beilleszthető. Az üzemeltetést figyelembe véve egy ugyanilyen egység beszerzése esetén az alkatrészellátás ugyanarról a helyről történik, ahonnan az eddig üzemeltetett berendezések alkatrészei érkeztek, a kenőanyagok azonosak, a kezelésre és karbantartásra kiképzett személyek már rendelkeznek a szükséges ismeretekkel. Ebből kifolyólag a következő kompresszor beszerzését javaslom:

- Típusjel: Storm 56 VS-10
- Légszállítás³: 3,3 – 8,3 Nm³/min
- Kivitel: frekvenciaváltós fordulatszám-szabályozással ellátott
- Motor villamos teljesítménye (50 Hz frekvenciánál): 55 kW

A kompresszor egység és a felsorolt kiegészítő berendezések beszerzése után a telepítés következik, amely során meg kell határozni az új technológiai egység helyét, figyelembe véve a befoglaló méreteket. A villamos hálózat kapacitását igény szerint növelni kell. Mivel a jelenlegi „levegős helyiség” szerepét egy konténer tölti be, érdemes megvizsgálni, hogy az új egység érkezésével új konténer beépítése válik-e szükségessé.

A technológiai egységet telepítése után próbaüzemben kell járatni, figyelve az üzemi paraméterek változását. A próbaüzem letelte után a berendezések használatára, üzemeltetésére vonatkozó előírások megegyezőek lesznek a korábban alkalmazott technológiai utasítással. A karbantartási terv elkészítésekor a korábban alkalmazott karbantartási technológiai terv szolgáltathat alapot, azt igény szerint módosítani kell a hálózat új paramétereire szabva.

4.4. Gazdasági elemzés

Mint minden technológiai fejlesztés esetében, úgy a HVM fejlesztési tervében is ki kell térni a költségekre. Egy már működő, fejlesztendő termelőüzem esetén az első szempont a

³ ISO 1217 szerint mérve.

kihasználtság, hiszen az üzem kapacitásához mért napi-, heti-, havi-, vagy éves teljesítmény lesz a legfontosabb mutató a megtérülési idő elemzésekor. Az üzemeltető és/vagy tulajdonos vállalat/személy első körben azt fogja vizsgálni, hogy egy adott összegű befektetés – azon felül, hogy a cég tárgyi eszköz-értékét növeli – milyen hamar és mekkora haszonnal térül meg számára.

A HVM bevételi forrása a feldolgozott DRS hulladékok másodnyersanyagként történő értékesítéséből befolyt pénzösszeg, melynek számos üzemeltetési költséget kell fedeznie. A berendezéseket működtető villamos áram ellenértéke, az alkalmazottak bére, a berendezések alkatrészellátásának költsége, a különböző adók mind a bevételből kerülnek kifizetésre, így a megmaradó tiszta haszonból fordítható forrás a fejlesztés megvalósítására.

A bevétel kiszámításához ismerni kell a feldolgozott DRS hulladékok egységre vonatkoztatott piaci árát és az éves feldolgozott hulladékmennyiséget. A piaci árak a MOHU által a következőképpen lettek meghatározva 2025-ben:

1. táblázat: DRS hulladékok értékesítési árai

(Forrás: saját készítés, aktuális MOHU adatok alapján)

Megnevezés	Anyagáram jellemző tulajdonsága	Ár (Forint/tonna)
Víziszta PET	Legmagasabb anyagtisztaság	237 800 Ft/t
Világoskék PET	Közepes anyagtisztaság	177 343 Ft/t
Tarka (vegyes) PET	Legkevésbé válogatott anyagáram	102 575 Ft/t
Alumínium	98% Al-tartalom	159 000 Ft/t

Az adatok ismerete mellett figyelembe kell venni más tényezőket is. DRS hulladék összetétele minden esetben eltérő, illetve az acél csomagolási hulladék piaci árára vonatkozóan nem található egyértelmű adat, így azt nem veszem figyelembe. A napi feldolgozás mértéke is eltérő, ezért csak egy átlagos, közelítő értékkel lehetséges a számítás.

Az üzemeltetési adatok alapján az éves feldolgozott DRS hulladék mennyisége 20 000 tonna évente, melynek 90 %-a kerül végül értékesítésre a bálázást követően. Ez alapján az éves hasznos hulladékmennyiség 18 000 tonna, az összetétel tekintetében közel egyforma a négy anyagáram jelenléte a DRS hulladékban, így a háromfajta PET (fehér, kék és tarka), illetve az

alumínium egy-egy negyedrészt tesz ki. Az éves teljes feldolgozási mennyiség, az anyagfajták megoszlása és a piaci árak ismeretében elvégezhető az éves bevétel közelítő számítása:

2. táblázat: Bevétel összetétele anyagáramok szerint

(Forrás: saját készítés)

Anyagáram	Éves mennyiség (tonna)	Ár (Ezer Ft/tonna)	Bevétel (Ezer Ft)
Víziszta PET	4500 t	237,8 E Ft/t	1 070 100 E Ft
Kék PET	4500 t	177,343 E Ft/t	798 043,5 E Ft
Tarka PET	4500 t	102,575 E Ft/t	461 587,5 E Ft
Alumínium	4500 t	159 E Ft/t	715 500 E Ft
Összesen:	18 000 t	-	3 045 231 E Ft

A táblázatban foglaltak szerint az éves bevétel 3 045 231 000 Ft évente. Ezen összegnek megközelítőleg a 70%-a a működési költségek fedezésére fordítódik, így a fennmaradó összeg tekinthető haszonnak, mely fejlesztésekre is fordítható. Ez az összeg tehát a teljes bevétel 30%-a, mely az alábbi módon számítható:

$$\text{Profit} = 0,3 * 3\,045\,231\,000 = 913\,659\,300 \text{ Ft}$$

A beruházás költsége egy korábbi árajánlat alapján 50 millió Forint körül becsülhető, mely magába foglalja a kompresszort, a szárító berendezést, a légtartályt és a kondenzátumkezelő berendezéseket, illetve a helyszíni telepítést és beüzemelést. Ezen adatok ismeretében kijelenthető, hogy a beruházás kevesebb, mint egy éven belül megtérül, így mindenképpen érdemes elvégezni a termelés biztonságának érdekében.

Amennyiben mérlegelni szeretnénk, hogy egy teljes napi leállás mekkora bevételkiesést okozna, akkor az alábbi módon kaphatunk egy közelítő eredményt:

- Teljes éves bevétel: 3 045 231 E Ft
- Napi bevétel (átlagosan): $\frac{\text{éves bevétel}}{\text{évi összes munkanap}} = \frac{3\,045\,231}{260} \approx 11\,712,43 \text{ E Ft}$

Ezalapján egy kompresszor komolyabb beavatkozást igénylő meghibásodása közel tizenkét millió forintos bevételkiesést okozna naponta. A beruházási költség ismeretében ismételten kijelenthető, hogy érdemesebb a fejlesztést elvégezni.

4.5. További fejlesztési javaslatok

A léghálózat fejlesztése ugyan prioritást élvez, azonban érdemes megfontolni a technológiai sor más elemeinek fejlesztését is. A jelenlegi felhasználás hatékonyságának növelésére fókuszálva a következő javaslataim lennének:

- Zsákbontó berendezés és dobrosta kiiktatása a gépsorból
Jelenleg az anyagfeladás előtt manuálisan történik a zsákbontás, így a feleslegessé vált egység kibontásával a technológiai folyamat rövidül. A DRS anyagáram összetétele homogén, méret szerinti osztályozásra nincs szükség ilyen mértékben, a technológiai lépés elhagyható, a folyamat rövidül.
- Automatizált anyagfeladás
Számítógépes vezérlésű anyagfeladó berendezés kiépítése, elhagyva a jelenleg alkalmazott homlokrakodót. Egy ilyen berendezéssel állandósítható a feladott anyagmennyiség, a termelés zavartalanabb és a feladás nem igényel emberi erőt.
- Utóválogatás gépesítése
A jelenlegi kézi utóválogatás kiváltása a válogatósorban alkalmazott NIR berendezések alkalmazásával. Ez a fejlesztés ugyan több tényező vizsgálatát kívánja meg (pneumatikus hálózat fejlesztése, szeparátorok beszerzése, újabb technológiai sor kiépítése a jelenlegit folytatva), de az emberi tényező kizárható lenne.

5. Összefoglalás

A bevezetésben megfogalmazott célkitűzésem, azaz a HVM pneumatikus hálózatának méretezéses vizsgálata és a méretezés eredményeinek kiértékelése utáni fejlesztési javaslat megfogalmazása megtörtént. Az ismert műszaki paraméterek és üzemeltetési adatok ismeretében elvégeztem a hálózat analízisét, majd az eredmények ismeretében a pneumatikus hálózat fejlesztésére egy konkrét javaslatot készítettem, a beépítendő berendezések paramétereinek megadásával.

A téma megértésének és ismereteim bővítésének céljából egy szerteágazó szakirodalmi kutatást kellett végezni, így számos területet érintettem. A hulladék fogalmát, fajtáit és a keletkezési okokat számbavéve jutottam el a mai, modern hulladékgazdálkodási szokások feltérképezéséhez. Ezeknek ismerete a HVM szerepének megértéséhez elengedhetetlen. Ezt követően a NIR-technológiát és annak hulladékgazdálkodási felhasználást kutattam, hogy az optikai szeparátorok működését és felépítését átfogóan bemutathassam. Végül, de nem utolsó sorban a pneumatikus rendszerek legfontosabb ismérveit, elemeit és azok főbb tulajdonságait mutattam be, hogy a későbbiekben, a méretezés során ezek már ismert elemek legyenek.

Ezt követően az üzemben található gépsort mutattam be a technológiai folyamatban betöltött szerepük rövid ismertetésével. Ezzel a lépéssel az optikai válogatók fontosságát szerettem volna kiemelni.

Végül a pneumatikus hálózat méretezési folyamatát mutattam be és elvégeztem a napi használatban lévő HVM-hálózat méretezését, különös figyelmet fordítva a légfogyasztás és a légszállítás viszonyára, mivel ezeknek viszonya szolgáltatta a következtetések levonása után megfogalmazott fejlesztési javaslat alapját. A számítások során a kompresszorok üzemidejét, a puffertartály szerepét és a kapcsolási számokat is vizsgáltam, mivel ezek a paraméterek releváns viszonyítási pontokként szolgáltak a méretezés során. A számszerűsített paraméterek ismeretében egyértelmű következtetésre jutottam.

A HVM pneumatikus rendszerét fejleszteni kell a zavartalan termelés biztosításának érdekében, ezért konkrét fejlesztési javaslatokat fogalmaztam meg, melyek közül a korábban célként kitűzött, levegős hálózat fejlesztésére irányuló pont volt a releváns, de ezen felül még egyéb fejlesztési lehetőségeket is felvázoltam, tekintettel a folyamatos igénybevételre. Ezen felül az

újrahasznosítási hajlandóság növekedésével egyre nagyobb mennyiségű DRS hulladék érkezése várható az üzembe az évek folyamán, így a technológiai sor minimális módosításával a hatékonyság növelhető, az energiafelhasználás pedig optimalizálható.

A fejlesztések esetében fontos szempont a költségek mértéke és azok megtérülési ideje, ezért egy rövid gazdasági elemzés keretében a beruházás becsült költségére és becsült megtérülési idejére is kitértem.

Irodalomjegyzék

1. Aleksza, L. (szerk.), (2017): Hulladékgazdálkodás Kézikönyv. TÁMOP-4.1.1.C-12/1/KONV-2012-0018, ProfiKomp Zrt, Gödöllő. pp. 22-23., 1 p., pp. 63., 1 p., pp.70-73., 3 p., pp. 81-85., 4 p.
2. Anthony, B. (szerk.), (1997): Pneumatic Handbook. Elsevier Science & Technology Books. pp. 5-28., 23 p.
3. Árvai, J. (1992): Hulladékgazdálkodási kézikönyv. Műszaki Könyvkiadó, Budapest. pp. 26-47., 19 p.
4. Bagyinka, F., Gyebnár D., Nádasy B., Pataki F., Perger J., Radovics K., Szabó I. (2018): Ha a kör bezárul – a körforgásos gazdaság jelentősége és lehetőségei. 9 körforgásos eszköz, 70+ vállalati esettanulmány. Ipar 4.0 kitekintés. Kiadvány. PricewaterhouseCoopers (PwC) Magyarország Kft., Budapest.
5. Bártfai, Z., Korzenszky, P., Szalkai, I. (2019): PREPROCESS VARIATIONS OF PLASTIC WASTE RECYCLING. In: Magó, L., Kurják, Z. (szerk.) SYNERGY - Engineering, Agriculture and Green Industry Innovation : ABSTRACTS of the VI. International Conference of CIGR Hungarian National Committee and the Szent István University, Faculty of Mechanical Engineering and the XXXIX. R&D Conference of Hungarian Academy of Sciences, Committee of Agricultural and Biosystems Engineering, Gödöllő, Hungary, 4 – 6. November, 2019. Gödöllő, Magyarország, Szent István Egyetem Gépészmérnöki Kar. 96 p., pp. 36., 1 p.
6. Burns, D. A., Ciurczak, E. W. (2008): Handbook of near-infrared analysis, 3rd edition. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA. pp.4-6., 2 p.
7. Csőke, B. (szerk), (2011): Hulladékgazdálkodás. Környezetmérnöki Tudástár, HEFOP 3.3.1-P-2004-0900152/1.0, Pannon Egyetem, Környezet mérnöki Intézet, Veszprém. p.26-27., pp. 33-35., 2 p.
8. Fehér, Gy. (1977): Települési hulladékok eltávolítása és hasznosítása. Műszaki Könyvkiadó, Budapest. pp. 23-37., 14 p.
9. Gausz, T., Hargitai, L., Cs., Simon, Gy. (2011): Járművek Hő- és Áramlástechnikai berendezései. Egyetemi tananyag, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Közlekedésmérnöki Kar. Typotex Kiadó, Budapest. pp. 77-87., 10 p.

10. Giel, R., Fieden, M., Dabrowska, A. (2025): Real-time automatic identification of plastic waste streams for advanced waste sorting systems. Publikáció. Faculty of Mechanical Engineering, Wroclaw University of Science and Technology, Wroclaw, Lengyelország.
11. Hartman, M. (2011): Hulladékgazdálkodás alapjai. Egyetemi jegyzet, Szent István Egyetem, Gödöllő. pp. 37-45., 8 p.
12. Író B., Dr. Zsenák F. (2000): Energetikai Gépek. Kézirat, Győr, pp. 107-109., 2 p.
13. Meixner, H., Kobler, R. (1979): Bevezetés a pneumatikába. Festo Tankönyv, Kohó- és Gépipari Tudományos Informatikai és Ipargazdasági Központ. pp. 11-41., 30 p.
14. Nagy, G.(szerk.), (2002): Hulladékgazdálkodás. Egyetemi jegyzet, Széchenyi István Egyetem, Győr. pp. 53-58. , 5 p.
15. Oussai A., Bártfai Z., Kátai L., Szalkai I. (2019): Development of a small-scale plastic recycling technology and a special filament product for 3D printing. INTERNATIONAL JOURNAL OF ENGINEERING AND MANAGEMENT SCIENCES / MŰSZAKI ÉS MENEDZSMENT TUDOMÁNYI KÖZLEMÉNYEK 4: 1 pp. 365-371., 7 p.
16. Pokol, G. (2011): Analitikai Kémia. Typotex Kiadó, Budapest. pp. 22-34., 8 p.
17. Pukánszky, B. (2003): Műanyagok. BME Műanyag- és Gumiipari Tanszék, Budapest. p.16-32., 16 p.
18. Raptis, D. (2015): Pneumatika-Elektropneumatika-Rendszertechnika. Nyugat-Magyarországi Egyetemi Kiadó, Szombathely, pp. 11-27., 16 p.
19. Shen, H., Pugh, R. J., Forssberg, E. (2001): Floatability, selectivity and flotation separation of plastics by using a surfactant. Publikáció. Division of Mineral Processing, Luleå University of Technology, Institute for Surface Chemistry, Stockholm, Svédország.
20. Siesler, H. W., Ozaki, Y., Kawata, S., Heise, H. M. (2001): Near-Infrared Spectroscopy: Principles, Instruments, Applications. Wiley-VCH, Birkach, Németország. pp. 11-41., 30 p., pp. 75-84., 9 p., pp. 213-245., 32 p.
21. Szeder, Z. (2000): Elektronikai készülékek hulladékainak kezelése. BBS-E Bt., Budapest. pp. 23-30., 8 p.
22. Szigedi, T. (2013): Módszerfejlesztés Fourier-transzformációs közeli infravörös technika (FT-NIR) alkalmazási körének kibővítésére élelmiszeripari mintákon. Doktori értekezés, Budapesti Corvinus Egyetem, Budapest. pp. 16-22., 6 p.
23. Zaghis, L. (2015): Modern pneumatics - Introduction to the principles of compressed air. Pneumax, Lurano, Olaszország. pp.14-36., 22 p., pp. 44-48., 4 p.
24. Zimler, T. (szerk.), (2003): Hulladékgazdálkodás. Tertia Kiadó, Budapest. pp.34-41., 7 p.
25. [http1: https://bestmachinery.hu/hulladekvalogato-hulladekfeldolgozo-uzem-mukodese](https://bestmachinery.hu/hulladekvalogato-hulladekfeldolgozo-uzem-mukodese)

26. http2: <https://bestmachinery.hu/nir-optikai-hulladekvalogato-rendszerek>
27. http3: <https://greendex.hu/ujrahasznositas/>
28. http4: <https://gs1hu.org/visszavaltasi-rendszer-drs>
29. http5: https://mohu.hu/pdf/RVM_tajekoztato_2023-02-02.pdf
30. http6: [https://titan.physx.u-szeged.hu/tamop411c/public_html/L%C3%A9zerek%20az%20o
rvostudom%C3%A1nyban/21_az_elektromgneses_spektrum.html](https://titan.physx.u-szeged.hu/tamop411c/public_html/L%C3%A9zerek%20az%20o
rvostudom%C3%A1nyban/21_az_elektromgneses_spektrum.html)
31. http7: [https://www.e-consystems.com/blog/camera/technology/what-is-nir-imaging-and-how
-do-nir-cameras-work/](https://www.e-consystems.com/blog/camera/technology/what-is-nir-imaging-and-how
-do-nir-cameras-work/)
32. http8: [https://www.europarl.europa.eu/topics/hu/article/20151201STO05603/korforgasos-ga
zdasag-mit-jelent-miert-fontos-es-mi-a-haszna](https://www.europarl.europa.eu/topics/hu/article/20151201STO05603/korforgasos-ga
zdasag-mit-jelent-miert-fontos-es-mi-a-haszna)
33. http9: [https://www.europarl.europa.eu/topics/hu/article/20180328STO00751/hulladekkezeles
-az-eu-ban-trendek-es-statisztikak-infografika](https://www.europarl.europa.eu/topics/hu/article/20180328STO00751/hulladekkezeles
-az-eu-ban-trendek-es-statisztikak-infografika)
34. http10: [https://www.europarl.europa.eu/topics/hu/article/20181212STO21610/a-muanyag-hu
lladek-mennyisege-es-ujrahasznositasa-az-eu-ban-infografika](https://www.europarl.europa.eu/topics/hu/article/20181212STO21610/a-muanyag-hu
lladek-mennyisege-es-ujrahasznositasa-az-eu-ban-infografika)
35. http11: <https://www.fossanalytics.com/news-articles/technologies/nir-technology>
36. http12: <https://imex.szerviztechnika.hu/hutveszarito>
37. http13: [https://www.infracont.com/blog/a-nit-near-infrared-transmission-muszerek-alkalmaz
asa-a-buza-minosegi-parametereinek-meghatarozasara-1](https://www.infracont.com/blog/a-nit-near-infrared-transmission-muszerek-alkalmaz
asa-a-buza-minosegi-parametereinek-meghatarozasara-1)
38. http14: [https://www.lawinsider.com/hu/contracts/fBCkx9MgOYc#g%C3%A1ztechnikai-nor
m%C3%A1ll-k%C3%B6zvetlen%C3%A9rt](https://www.lawinsider.com/hu/contracts/fBCkx9MgOYc#g%C3%A1ztechnikai-nor
m%C3%A1ll-k%C3%B6zvetlen%C3%A9rt)
39. http15: <https://www.mnksz.hu/2024-januar-1-kotelezo-visszavaltasi-rendszer-drs->
40. http16: [https://www.process-insights.com/wp-content/uploads/2023/10/Process-Insights_G
W_3042_NIR-IR-Spectroscopy_app-note_15PP_-US_v23.pdf](https://www.process-insights.com/wp-content/uploads/2023/10/Process-Insights_G
W_3042_NIR-IR-Spectroscopy_app-note_15PP_-US_v23.pdf)
41. http17: <https://www.pwc.com/hu/hu/kiadvanyok/assets/pdf/korforgasos.pdf>
42. http18: <https://www.sciencedirect.com/journal/resources-conservation-and-recycling>
43. http19: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344924005536>
44. http20: <https://www.tomra.com/about-tomra/circular-economy/deposit-return-systems>
45. http21: [https://www.tomra.com/reverse-vending/media-center/feature-articles/history-deposi
t-return-schemes](https://www.tomra.com/reverse-vending/media-center/feature-articles/history-deposi
t-return-schemes)
46. http22: [https://www.tomra.com/reverse-vending/media-center/feature-articles/rising-demand
-for-deposit-return-schemes](https://www.tomra.com/reverse-vending/media-center/feature-articles/rising-demand
-for-deposit-return-schemes)

Ábrajegyzék

1. ábra: Áttekintés.....	8
2. ábra: Melléktermék és hulladék hasznosításának folyamatábrája.....	9
3. ábra: Hulladékgazdálkodás hierarchiája.....	10
4. ábra: DRS rendszer felépülése.....	15
5. ábra: Körforgásos gazdaság szerkezete és szereplői.....	16
6. ábra: Az elektromágneses sugárzás tartományai.....	17
7. ábra: Fény és anyag kölcsönhatásai.....	18
8. ábra: Optikai hulladékválogató működés közben.....	19
9. ábra: Kompresszorok csoportosítása.....	21
10. ábra: Sűrítési vég hőmérséklet és sűrítési végnyomás kapcsolata.....	22
11. ábra: Sűrített levegő előállításának berendezései.....	23
12. ábra: Hűtőszárító berendezés elvi vázlata.....	24
13. ábra: Az optikai fejegység felépítése.....	26
14. ábra: A szeparátor egység felépítése.....	27
15. ábra: HVM válogató gépsora.....	28
16. ábra: Szín szerinti válogatást végző optikai szeparátor egységek.....	29
17. ábra: HVM virtuális modellje.....	30
18. ábra: Kompresszorok üzemóra adatai.....	31
19. ábra: A két kompresszor és a hűtve szárító egység.....	36
20. ábra: A légtartály gyári táblája.....	36

Táblázatok jegyzéke

1. táblázat: DRS hulladékok értékesítési árai.....	44
2. táblázat: Bevétel összetétele anyagáramok szerint.....	45

MATE Szervezeti és Működési Szabályzat

III. Hallgatói Követelményrendszer

III.1. Tanulmányi és Vizsgaszabályzat

6.13. sz. függelék: A MATE egységes szakdolgozat /
diplomadolgozat / záródolgozat / portfólió készítési útmutatója

4.2. sz. melléklete: Nyilatkozat a záródolgozat/szakdolgozat/diplomadolgozat/portfólió nyilvános
hozzáféréseiről és eredetiségéről (módosítva: 2025. október 16.)

NYILATKOZAT

a szakdolgozat nyilvános hozzáféréseiről és
eredetiségéről

A hallgató neve: VARJU ADÁM
A Hallgató Neptun kódja: 03T651
A dolgozat címe: HULLADÉKVALÓGATÓ MŰSZAKI FEJLESZTÉSE DR.S FELDOLGOZÁS Hoz
A megjelenés éve: 2025
A konzulens intézetének neve: MŰSZAKI INTÉZET
A konzulens tanszékének a neve: MEZŐGAZDASÁGI ÉS ÉLELMISZERIPARI GÉPEK

Kijelentem, hogy az általam benyújtott szakdolgozat egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, és az irodalomjegyzékben szerepeltettem. Továbbá kijelentem, hogy a dolgozat elkészítése során alkalmazott mesterséges intelligencia-eszközök (pl. szöveggenerálás, nyelvi javítás, fordítás, adatelemzés) használata nem helyettesítette a saját kutatási és alkotói munkámat, azok alkalmazását a források között vagy a módszertani részben feltüntettem, és a szakmai-etikai elvárásoknak megfelelően jártam el.

Ha a fenti nyilatkozattal valótlan állítottam, tudomásul veszem, hogy a záróvizsga-bizottság a záróvizsgából kizár és a záróvizsgát csak új dolgozat készítése után tehetek.

A leadott dolgozat, mely PDF dokumentum, szerkesztését nem, megtekintését és nyomtatását engedélyezem.

Tudomásul veszem, hogy az általam készített dolgozatra, mint szellemi alkotás felhasználására, hasznosítására a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem mindenkor szellemi tulajdon-kezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem könyvtári repozitóri rendszerébe. Tudomásul veszem, hogy a megvédett és

- nem titkosított dolgozat a védést követően
- titkosításra engedélyezett dolgozat a benyújtásától számított 5 év eltelte után nyilvánosan elérhető és kereshető lesz az Egyetem könyvtári repozitóri rendszerében.

Kelt: BUDAPEST, 2025 év OKTÓBER hó 29 nap


Hallgató aláírása

NYILATKOZAT

VARJU ADAM (név) (hallgató Neptun azonosítója: 03T651)
konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a szakdolgozatot áttekintettem, a hallgatót az irodalmi
források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A szakdolgozatot a záróvizsgán történő védeésre javaslom / nem javaslom¹.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem^{*2}

Kelt: GÖDÖLLŐ, 2025 év OKTÓBER hó 29 nap


belső konzulens

¹ A megfelelő aláhúzendó.

² A megfelelő aláhúzendó.

Hallgatók, doktoranduszok nyilatkozata mesterséges intelligencia (MI) alkalmazásáról

1. Általános adatok

Hallgató neve:	VARJU ADÁM
Neptun-kódja:	03T651
Képzési szint (a megfelelőt jelölje X-szel):	<input checked="" type="checkbox"/> BSc/BA <input type="checkbox"/> MSc/MA <input type="checkbox"/> Doktori (PhD) <input type="checkbox"/> Egyéb:
Tantárgy neve/kódja*:	SZAKDOLGOZAT KÉSZÍTÉS / MUSZK 337N
A munka címe:	HULLADÉKVÁLLALÓ MŰSZAKI FEJLESZTÉSE DR. FELVÁLLALÓ

* doktori értekezés esetén nem kitöltendő

2. Nyilatkozat az MI használatáról

Alulírott, etikai felelősségem teljes tudatában az alábbi nyilatkozatot teszem:

(Kérjük, válasszon egyet az alábbi lehetőségek közül!)

A) Nem alkalmaztam mesterséges intelligencia rendszert vagy szolgáltatást.

(Amennyiben ezt jelölte, a további táblázatok kitöltése nem szükséges.)

B) Alkalmaztam mesterséges intelligencia rendszert vagy szolgáltatást.

(Kérjük, töltsse ki a vonatkozó táblázatokat!)

3. A mesterséges intelligencia használatának részletezése

I. TÁBLÁZAT: Asszisztensi vagy kisebb mértékű felhasználás (pl. fordítás, nyelvi korrektúra, ötletelés stb.)

(Ezen felhasználások esetében a konkrét promptok és válaszok csatolása nem szükséges.)

A felhasználás célja	Alkalmazott MI-eszköz neve és verziója	Érintett rész (ha nem a szöveg egészére vonatkozik)
ÖTLETELÉS	GOOGLE GEMINI 2.5 PRO	EREDMÉNYEK

II. TÁBLÁZAT: Jelentős tartalmi hozzájárulás (pl. egy teljes ábra vagy egy hosszabb szövegrész generálása)

(Ezekben az esetekben a felhasznált kulcsfontosságú promptok és az MI által adott nyers válaszok dokumentálása és a munka mellékletében való csatolása szükséges.)

A felhasználás célja	Alkalmazott MI-eszköz neve, verziója, elérhetősége	Az érintett fejezet / ábra / táblázat pontos sorszáma	A prompt-naplót tartalmazó melléklet bejegyzésének sorszáma
----------------------	--	---	---

--	--	--	--

3/A. Oktató által előírt kiegészítő szabályok (ha vannak)

Amennyiben az adott tantárgy oktatója vagy témavezetője az MI-eszközök használatára vonatkozóan külön szabályokat vagy elvárásokat határozott meg, kérjük, az alábbi mezőben foglalja össze ezeket:

Pl. az MI használatának tilalma bizonyos feladattípusokra; csak konkrét eszköz használata engedélyezett; eltérő hivatkozási elvárások; dokumentációs forma stb.

Oktató vagy témavezető által előírt szabályok:

.....
.....
.....
.....

4. Minden hallgatóra vonatkozó nyilatkozat:

Kijelentem, hogy az MI által esetlegesen generált tartalmakat minden esetben kritikailag felülvizsgáltam, szerkesztettem és a munkába illesztettem. A leadott munka minden eleméért, annak eredetiségéért és tudományos helytállóságáért teljes körű felelősséget vállalok. Tudomásul veszem, hogy a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem a benyújtott munkát mesterséges intelligencia detektorral ellenőrizheti, és eljárást kezdeményezhet, amennyiben a nyilatkozatom valótlan vagy hiányos.

Kelt: GÖDÖLLŐ , 2025. OKTÓBER. hó 29. nap

.....
Hallgató aláírása

.....
Konzulens/Témavezető aláírása