

**Széchenyi István Főiskola
Építési- és Környezetmérnöki Fakultás
Környezetmérnök Tanszék**

D r . N A G Y G É Z A

TECHNOLÓGIAI RENDSZEREK

Főiskolai jegyzet

/kézirat/

Győr, 2001. szeptember

**Széchenyi István Főiskola
Építési- és Környezetmérnöki Fakultás
Környezetmérnök Tanszék**

TECHNOLÓGIAI RENDSZEREK

Főiskolai jegyzet

/kézirat/

**Szerző: Dr. Nagy Géza Ph.D. főiskolai tanár
okleveles kohómérnök
a műszaki tudomány kandidátusa**

**Lektor: Dr. Grega Oszkár Ph.D.
okleveles kohómérnök
termelési igazgató**

Győr, 2001. szeptember

TARTALOMJEGYZÉK

BEVEZETÉS

A „Technológiai rendszerek” című jegyzet a Széchenyi István Főiskola környezetmérnök szakos hallgatói számára oktatott azonos című szaktantárgy tananyagát tartalmazza.

Arra a gondolatra épül, hogy a különböző előképzettségű hallgatók környezetbarát szemléletének kialakítása érdekében egyértelművé kell tenni a környezetterhelés jelentős részét okozó emissziók (szilárd, folyékony és gáznemű kibocsátások) eredetét és csökkentés (megelőzés) lehetséges módjait.

Tekintettel arra, hogy a hulladék – amely értékes természeti anyagok és energiák összessége – döntő hányada az anyag- és energiaátalakítási folyamatok – részben elkerülhető - terméke.

Fontos tudni azonban, hogy a megfelelő szakértelemmel működtetett és ellenőrzött folyamatok (technológiák) hatékonysága (fajlagos anyag- és energiafelhasználása) javítható és így a környezet-terhelés, és az anyagpazarlás jelentősen csökkenthető.

A környezetmérnök képzés során oktatott ismeretek között kiemelt helyen szerepel a környezeti elemek (talaj, víz, levegő, épített környezet, stb.) védelme és így több helyen szóba kerül a terhelési források ismertetése is. Ezzel a körülménnyel számolni kellett a tantárgy tananyagának összeállítása során. A teljességre törekvés óriási terjedelemnövelés mellett a más tantárgyak keretei között elmondottak szükségtelen ismétlését is jelentené. Az egyéb szaktárgyak keretei között leírt vagy említett technológiák és berendezések (füstgáz tisztítás, talajszennyezés elhárítás, szennyvíz tisztítás) teljes kihagyása viszont elképzelhetetlen a környezetkímélő megoldások és beavatkozások ismertetése során.

Így azt a megközelítési módot választottuk, hogy ismertetünk egy-egy – a környezetterhelés szempontjából jelentős - technológiát, érthetően leírva a folyamatot, rámutatva a technológia okozta környezeti terhelésre, illetve a terhelés csökkentésének lehetőségére, de nem részletezve a más tantárgyak vagy technológiák során ismertetett részfolyamatokat, illetve berendezéseket.

A jegyzet tartalma tehát nem szorosan egymásra épülő fejezetekből, hanem – egy átlagos természettudományi alapképzettség alapján – önmagában is érthető szemelvényekből, a megelőző környezetvédelem alkalmazásának szükségességét

érthetővé tevő példák sorozatából áll. Szándékunk szerint az összegzett tananyag a tantárgy megértése és alapvető elsajátítása mellett a „tisztább termelés” szakmai gyakorlaton készítendő önálló hallgatói esettanulmányok, illetve egyes technológiai jellegű, a hulladékképződés megelőzésével, a hulladék újrahasznosításával, illetve a környezetbarát hulladékkezeléssel foglalkozó tudományos diákköri és diplomadolgozatok elkészítését is megkönnyíti, segítheti, egyben a termelő szférában elhelyezkedő kezdő környezetmérnököt gyakorlati munkájában.

1. A TECHNOLÓGIÁK RENDSZEREZÉSE

1.1 A tananyagban alkalmazott rendszerezés és lehatárolás

A technológia (mesterségtan) anyagátalakítási folyamatok egymáshoz kapcsolódó láncolata, általánosan elterjedt értelmezés szerint a nyersanyagok (természeti erőforrások) termékké való feldolgozásának tudománya és gyakorlata [1,2].

A technológia régen a termelő munkában szerzett tapasztalatok összegyűjtése és továbbfejlesztése révén alakult, illetve fejlődött. Ma már azonban a fizikai, kémiai és biológiai törvényszerűségek tudományos alapokon nyugvó alkalmazásának rendszere, amely a műszaki, gazdasági szempontból optimális megoldások (eljárások) folyamatos fejlesztése mellett különös figyelmet fordít a környezeti hatásokra.

Az Európa Tanács 1996-ban fogadta el (az 1999-től valamennyi tagállamban kötelező) az Integrált szennyezés-megelőzésről és szabályozásról szóló IPPC (Integrated Pollution Prevention and Control) irányelvet, amely a legfejlettebb országokban is teljesen új környezetvédelmi szabályozási koncepciónak számít és alapvető módszerváltást jelent. Az IPPC direktiva olyan engedélyezési rendszer kialakítását írja elő, amely az egész környezet magasszintű védelme érdekében a legjobb elérhető technikákra (Best Available Techniques = BAT) építve, azokra az ipari tevékenységekre állapít meg szabályokat, amelyeknél legvalószínűbb a környezeti elemek bármilyen szennyezése. [3,4,5,6]

A fenntartható fejlődés szolgálata gyakorlatilag a természeti erőforrásokkal való takarékos gazdálkodást, a természeti környezet megóvását jelenti. Ez a technológiai folyamatok hatékonyságának folyamatos növelésével, a hulladékképződés minimalizálásával, vagyis a technológiába integrált megelőző környezetvédelem (elterjedt nevén a tisztább termelés = TT) stratégiájának az alkalmazása révén és az életciklus elemzés általános bevezetésével megalapozható zártláncú gazdálkodás elterjesztésével biztosítható.

A technológiákat hagyományosan három csoportba sorolhatjuk:

- A mechanikai technológiák azokkal a munkafolyamatokkal foglalkoznak, amelyek az anyagnak csak a fizikai tulajdonságait változtatják meg (a kémiai összetevőit nem), pl. sajtolás, esztergálás, szabás-varrás.
- A kémiai technológiák során az anyagok kémiai összetétele és sajátossága változik meg (pl. acélgyártás, műanyagok előállítása, hulladékégetés).
- A biológiai technológiáknál a mikroorganizmusokat használják fel a kívánt biológiai folyamat lejátszódásához, ill. annak elősegítéséhez.

Szokás természetesen a technológiákat szakágazatok szerint is csoportosítani, mint pl. ipari (kohászat, gépipar, vegyipar, stb.), mezőgazdasági (talajelőkészítés, növénytermesztés, betakarítás, stb.).

Napjainkban egyre gyakrabban hallhatunk a környezetbarát (kis emisszióval járó) és a környezeti (a hulladékok gyűjtésével, kezelésével, újrahasznosításával foglalkozó) technológiákról.

Ezekben belül természetesen vannak olyan rendszerek, berendezések, amelyek többféle technológiánál alkalmazhatók, így pl. aprítóberendezések, porleválasztók, katalizátorok, stb.

Nem lebecsülve a fent említett csoportosítási lehetőségek gyakorlati jelentőségét, itt mi nem fogjuk szigorúan követni ezeket elsősorban azért, mert képtelenség lenne egy 10 éves jegyzet keretei között erre vállalkozni, másodsorban azért, mert erre hivatottak azok a tantárgyak (jegyzetek), amelyek a kohász, vegyész, építész, mezőgazdász, stb. mérnökök képzését szolgálják.

A környezetmérnök képzés keretei között csak illusztrációszerűen tudunk foglalkozni egy-egy konkrét technológia bemutatásával, követve természetesen az ismeretátadás hatékonyságának elsőrendű célját. Kiemeljük (részletesebben ismertetjük) azokat a folyamatokat (módszereket), amelyeket több helyen is alkalmaznak a technológiák környezeti teljesítményének javításában, illetve környezeti technológiák fejlesztésében.

Arra törekszünk, hogy a gyakorlati feladatok (hallgatói munka vagy mérnöki tevékenység) megoldása során a jegyzet nyújtson segítséget a technológiai folyamatok környezeti hatásának meghatározásában, a hulladékcsökkentés

legésszerűbb módjainak alkalmazásában, illetve a fenntartható fejlődés szolgálatában.

Példáinkat elsősorban – a környezetterhelés szempontjából meghatározó – kémiai technológiák területéről vesszük. Csak mint „ipari technológiákban” újrahasznosítható hulladékot „termelő” területet érintjük a mező- és erdőgazdasági technológiákat. Igyekszünk a hulladékártalmatlanítás területén jelentős helyet betöltő hulladékgyűjtés (energetikai hasznosítás) és nagyvolumenben képződő hulladék (építőipari, gumiipari, műanyagipari, stb.) hasznosítását megoldó környezeti technológiákat bemutatni. Nem tárgyaljuk azonban azokat a technológiákat, eszközöket és eljárásokat, amelyet más szaktantárgyak (levegőtisztaság -védelem, hulladékgazdálkodás, energia és környezet) keretei között ismertetünk.

1.2 A technológiák bemenő és kimenő anyagai

1.2.1 A technológiai folyamatok bemenő anyagai (input):

Alapanyag: az a nyersanyag vagy félkész (közti-) termék, amelynek feldolgozása az adott gyártási folyamat feladata, a folyamatban kiinduló anyagként szerepel (pl. kőszén, kőolaj, érc, stb.)

Nyersanyag: a természetben előforduló szervetlen vagy szerves eredetű anyagok, amelyek készítésére felhasználhatók.

A **nyersanyagok** eredet szerinti csoportosítása:

- *növényi eredetű:* növényi anyagcsere-termékek (pl. keményítő, cellulóz, fehérjék, növényi cserzőanyagok, növényi olajok, viaszok, gyanták, kaucsuk, parafa, stb.)
- *állati eredetű:* élő vagy elpusztult állatokból nyert nyersanyag (pl. hús, tej, zsír, bőr, állati trágya, stb.)
- *ásványi eredetű:* a földkéregben előforduló anyagok, melyek lehetnek:
 - éghető anyagok (kőszén, kőolaj, földgáz)
 - érc, érc (vas, színes-, könnyű-, nemesfém, radioaktív érc)
 - nem érces anyagok (építőanyagok, grafit, kén, drága- és féldrágakövek).

Adalékanyag: a technológiai eljárásokban felhasznált, az alapanyaghoz képest kis mennyiségű anyag, amely az előállítandó termék minőségét javítja, vagy a gyártást gazdaságosabbá teszi (pl. ötvözőanyag)

Segédanyag: olyan anyag, amely a termelés során nem válik a termék részévé.

1.2.2 A technológiai folyamatok kimenő anyagai (output):

Termék: a termelés vagy szolgáltatás eredménye, amely valamilyen szükséglet kielégítésére szolgál.

Melléktermék: az az anyag, amely a gyártási folyamatban a főtermék mellett keletkezik és keletkezési formájában hasznosítható vagy értékesíthető (pl. vas-, acél-, üveg-, papír-, textilhulladék).

Félkésztermék: (közti termék, intermedier) további feldolgozást igénylő termék.

Hulladék: a termelési folyamatok anyagáramaiból keletkező termelési hulladék, amely keletkezhet:

- üzemszerűen, az anyagátalakítási műveletek következtében
- felújítás és karbantartás során, ill. termékváltáskor
- üzemeltetési hiányosságok miatt.

1.2.3 A technológiák anyagmérlege:

Az anyagmérleg, a tömegmegmaradás elve alapján, valamely lehatárolt folyamatban belépő és kilépő anyagok egyenlege.

Ennek értelmében a technológiai folyamatba belépő anyagok tömege megegyezik a rendszerből kilépő anyagok tömegével. A lejátszódó folyamatok következtében a távozó anyagok csak minőségileg különböznek a belépő anyagoktól, mennyiségileg nem.

BELÉPŐ ANYAGOK MENNYISÉGE = KILÉPŐ ANYAGOK MENNYISÉGE INPUT = OUTPUT

Az anyagmérleg szerepe a környezetvédelemben:

- a) felvilágosítást ad a technológiában keletkező veszteségekről, amelyekből következtethetünk a környezetszennyező anyagok kibocsátására,
- b) elősegítheti a hulladékszegény technológiák bevezetését,
- c) számítási alapot nyújt a termelési költség csökkentésére,
- d) elősegítheti a környezetbarát termékek bevezetését,
- e) rámutat az anyag- és energiatakarékos technológiák bevezetésének lehetőségeire.

Az anyagmérlegen kívül ismeretes még egyéb mérleg is, pl. energiamérleg, költségmérleg, stb. (ezekről a „hulladékgazdálkodás” c. tantárgy keretei között részletesebben szólnunk).

1.2.4 A technológiák gyártási folyamatai

A termék előállítása történhet szakaszos vagy folyamatos gyártással.

Szakaszos gyártás során a nyersanyagok és segédanyagok adagolása, illetve a végtermék elvétele időszakos. A folyamatban résztvevő anyagokat egyszerre helyezik a berendezésbe, és a terméket a folyamat befejezése után távolítják el.

Szakaszos technológiával működik pl. a Bessemer-féle acélgyártás.

Folyamatos gyártás esetén a nyersanyag betáplálása és a késztermék elvétele folyamatos, az anyagok egyenletes sebességgel áramlanak végig a berendezésen, a fizikai körülmények a berendezés egyes pontjain állandóak.

Folyamatos technológiával történik pl. a kőolaj lepárlása.

1.2.5 A gyártási folyamatok ábrázolása

A gyártási folyamat ábrázolása történhet blokksémával, elvi folyamatábrával, illetve gyártási folyamatábrával.

A blokkséma (műveleti séma) csak a fontos műveleti mozzanatokot, a fő anyag- és energiaáramlásokat és a műveletek sorrendjét jelöli. Egyszerű síkidomokból (pl. négyszög) áll, amelyekben szöveges beírás jelzi a művelet jellegét.

Az elvi folyamatábra már feltünteti a gépek és készülékek jellegét, számát, de elhelyezkedésüket nem. A blokkséma és az elvi folyamatábra csak minőségi felvilágosítást nyújt a technológiai folyamatról.

A gyártási folyamatábra az egész gyártási folyamatról mennyiségi és minőségi információkat ad. Részletezi az anyag- és energiaáramokat, a berendezések jellegét, számát, elhelyezkedését, pontos kapcsolódását, tartalmazza a legfontosabb paraméterek értékeit és a műszerezettséget (ilyen mélységig általában nem ismertetjük a technológiákat).

2. TECHNOLÓGIÁK ISMERTETÉSE

Az ismertetésre kerülő technológiák között kiemelten foglalkozunk a környezetet leginkább terhelő – főleg kémiai technológiák csoportjába sorolható – anyag- és energiaátalakítási folyamatokkal, de említést teszünk a táj jellegét befolyásoló, az alapanyagok kinyerésében meghatározó bányászati technológiákról és érintjük a tisztán mechanikai technológiák körébe sorolható hideg megmunkálást és képlékeny alakítást is. Bemutatunk természetesen egy-egy technológiát a vegyipari, az élelmiszeripari és más jelentős anyag- és energiaátalakításos folyamatok szemléltetésére.

2.1 Bányászati technológiák

A bányászat az iparnak azon ága, amely a hasznosítható ásványi nyersanyagok kitermelésével foglalkozik. Az ásványi nyersanyag a technikai fejlődés minden kori szintjén a társadalom számára hasznosítható ásványi anyagok (nyersanyagok és energiahordozók) összessége. Kitermelésük és feldolgozásuk sokszor káros környezeti hatással jár együtt.

Környezetvédelmi szempontból megkülönböztetünk ásványvédelmet, és ásványvagyon-védelmet.

Az ásványvédelem a természetvédelem feladat- és jogkörébe tartozik. Jelenti az értékes ásványok, kristályok, ősmaradványok, kövületek védelmét.

Az ásványvagyon-védelem jelenti:

- a megkutatott, műrevaló (megművelendő) nyersanyag-készletek teljes körű kitermelésének biztosítását,
- a termelési veszteség és minőségi hígulás minimumra való csökkentését,
- a nyersanyagkészletek megvédését más tevékenységektől és beavatkozásoktól,
- szakszerű felhagyást és rekultivációt.

A rekultiváció a természeti jelenségek vagy az emberi beavatkozás miatt módosult, illetve megszűnt táji adottságok helyreállítása az ehhez szükséges műszaki feladatok és agrotechnikai műveletek elvégzésével.

A bányászott anyag halmazállapot szerint lehet:

- *szilárd halmazállapotú* (érc, kőszén, építőanyagok, stb.)
- *cseppfolyós halmazállapotú* (kőolaj)
- *gáznemű* (földgáz)

A Föld mélyében lévő ásványi nyersanyagok felkutatásával a geobotanika, a geokémia és a geofizika foglalkozik.

A *geobotanika* kutatásaihoz azt a jelenséget használja fel, hogy a különböző növények növekedéséhez más-más nyomelem szükséges. Az ibolya például cink jelenlétéről árulkodik, az urán a szőlő magjában halmozódik fel. A vizsgált növények részeit elhamvasztják, s fémtartalmukat színképelemzéssel határozzák meg.

A *geokémia* az elemek, főként a nyomelemek eloszlását és vándorlását megszabó törvényszerűségekkal foglalkozik. Geokémiai módszerrel vizsgálható például a források, patakok, a talaj fémtartalma: a fémek ditizonnal színes vegyületet képeznek, s ez jelezheti a Föld alatti ércek jelenlétét. A kutatást színképelemzéssel, ill. izotópos vizsgálatokkal egészítik ki.

A *geofizika* az ásványi nyersanyagok különböző fizikai tulajdonságait használja fel a kutatások folyamán. A rétegek helyének, fekvésének, vastagságának, dőlésének és sűrűségének meghatározására általában együttesen alkalmazzák a következő fizikai jelenségek mérését:

- gravitációs erő
- ellenállásmérés (elektromos áram terjedése)
- mágnesesség
- rengéshullám (szeizmikus mérés)
- izotópok
- kozmikus sugárzás, napfolttevékenység.

A felderítés után a geológusok a kijelölt helyen kutató fúrásokat végeznek. Az ún. lyukszelvényezéssel pontosabban meghatározzák az egyes rétegek különböző fizikai tulajdonságait.

Ennek módjai:

- elektromos lyukszelvényezés
- izotópos lyukszelvényezés
- termo-szelvényezés.

Elektromos lyukszelvényezést csak olyan lyukban lehet végezni, amelyből a bélésűcsövet kihúzták. Az izotópos lyukszelvényezésnél a bélésűcső nem zavarja a mérést. A lyukba radioaktív izotópot bocsátanak le, s Geiger-Müller számlálócsővel mérik a sugarak visszaverődését. A termo-szelvényezést érzékeny hőmérők lyukba eresztésével végzik.

Ásványi nyersanyag kitermelése történhet:

- *külfejtéssel*, szilárd anyag esetén
- *mélyműveléssel*, szilárd anyag esetén
- *mélyfűréssel*, cseppfolyós és gáznemű anyag esetén

A külszíni fejtés

A külszíni fejtés előnye, hogy az ásvány kitermelése egyszerűbb, gyorsabb és olcsóbb, mint mélyművelés esetén.

Gazdaságosságát befolyásolja:

- a hasznosítható réteg vastagsága
- a hasznos ásvány feletti réteg vastagsága, illetve jellege.

A fejtés során először a fedőréteget távolítják el, kotrókkal. A serleges kotró homokos, aprószemcsés talaj esetén, a kanalas lerobbantott kemény kőzet eltávolítására, a marótárcsás kőzet-fejtéskor alkalmazható. Általában teraszos kiképzést alkalmaznak, hogy az esetleges rétegcsuszamlások, omlások ne akadályozzák a munkát. A tényleges fejtést marótárcsás gépekkel végzik, illetve ha szükséges, robbantanak. A meddőt a már kitermelt területre viszik, szállítószalaggal vagy szállító járművekkel.

A kitermelt anyagot sokszor közvetlenül az osztályozó, dúsító, illetve feldolgozó üzemekbe szállítják, szállítószalagon.

A víz elvezetésére csatornákat készítenek, a zsompokban összegyűlő vizet szivattyúkkal távolítják el.

A mélyművelésű bányá

A mélyművelés a föld alatti munka-, szállító- és ellátóterek, illetve berendezések rendszeréből áll.

A haszonanyag megközelítési módja szerint megkülönböztetünk:

- aknát (függőleges járat)
- lejtaknát, guritót, tárót (ferde járat)
- altárót (vízszintes járat)

1. ábra: Mélyművelésű bányá (Főbb részei: 1 - szállító akna; 2 - légakna; 3 - víz; 4 - légzsilip; 5 - vízgyűjtő zsomp; 6 - légakna; 7 - szállító vágat) **és a haszonanyag-széntelep megközelítésének módjai [1]**

2.1.1 Szénbányászat

A szén a szénülés folyamán keletkezett üledékes kőzet. Évezredekken keresztül szilárd fosszilis tüzelőanyagként, az utolsó században kémiai nyersanyagként alkalmazzák.

A szénképződés, szénülés a kémiaiilag még nem teljesen felderített szénkeletkezési folyamat elnevezése. E folyamat során évmilliók alatt a friss növényből tőzegen keresztül barnaszén, kőszén, antracit és grafit keletkezik. Az illékony alkatrészek (H, O, N) mennyisége fokozatosan csökken, a széntartalom nő (közel 100 %-ig).

A szénképződés fázisai:

- a) aerób mikroorganizmusok bontó hatása (oxidációs folyamat)
- b) anaerób bakteriális redukciós folyamatok
- c) dekarboxilezés, demetanizálás

A szénülés mértékének megfelelően a következő szénfajtákat különböztetjük meg:

- tőzeg
- barnakőszén
- fekete kőszén
- antracit.

A *tőzeg* mocsarakban, lápokban felhalmozódó, elhalt vízinövények maradványaiból képződő üledék. Kevéssé szénült növényrészekből és a mikroorganizmusok hatására keletkezett humuszból áll. Nagy nedvességtartalmú (65-90 %), hamutartalma 6-30 %. Fűtőértéke általában 9 000-16 000, max. 24 000 kJ/kg.

A tőzeg felhasználási területei:

- a) szárítva tüzelőanyagként alkalmazható
- b) az építőiparban hő- és hangszigetelésre
- c) talajjavításra
- d) kokszt, kátrányt, lepárlási gáz előállítására

Magyarországon a Hanságon, a Kis-Balatonnál és a Sárréten fordulnak elő tőzegtelepek.

A *barnaköszén* 20-30 millió évvel ezelőtt, főleg növényi részekből képződött. Színe barna, feketés-barna, ritkábban fekete. Kb. 6 % hamut és 20-70 % vizet tartalmaz. Fűtőértéke víztelenítés után kb. 27 000 kJ/kg. Fiatal geológiai kora következtében a Föld felszínéhez közel helyezkedik el, ezért legtöbbször külszíni fejtéssel bányásszák. A réteg vastagsága általában 10-20 m, néhol 100 m is lehet.

A *feketeköszén* nagy szénülési fokú (80-92 %), kis hamu- és nedvességtartalmú köszén. Fekete, gyakran szurokszerűen vagy zsírosan fénylő, növényi eredetű üledékes kőzet. Fűtőértéke magas. Szerves vegyületek és ásványi anyagok keveréke, amelyben Si, Al, Fe, Mg, Ca és egyéb nyomelemek találhatók. Csoportosításuk illóanyag-tartalom alapján: lángszén, gázlángszén, gázzsén, zsíros szén, sovány szén.

Az *antracit* a legnagyobb mértékben átalakult szénkőzet. Barnásfekete, fénylő, kemény, kagylós törésű. Nehezen gyullad, de nagy fűtőértékű.

A szénbányák fejtési rendszerei:

A *frontfejtés* (széles homlokú fejtés) történhet:

- fűréssal-robbantással: a lerobbantott szén egy része ráhullik egy kaparószalagra, a többit rálapátolják,
- széngyaluval: a gyalut kötéllal vagy láncsal mozgatják a front hosszában,
- marógépekkel: a marókések hengerekre vannak erősítve.

A bányászok omlástól való megóvása érdekében a frontot biztosítani kell. A biztosítás történhet támfával, acélszerkezettel vagy páncélpajzzsal.

A *kamrafejtés* (keskeny homlokú fejtés) 3-5 m széles vágatformában folyik, amelynek művelése hasonlít az elővájásokhoz. Az elővágás olyan vágat, amelyet szénben hajtanak ki és pl. frontoknak készítenek elő a lég- és szállítóvágatokat.

A *lépcsős fejtést* meredek telepek fejtésekor alkalmazzák. Egy lépcső szélessége 3-5 m. Minden lépcsőnél egy ember dolgozik, s 0,5-1 m-es szeletekben fejt a szén, amely a gravitációs erő hatására lehull a szállítóvágatba.

2.1.2 Ércbányászat

Az érc olyan fémeket tartalmazó kőzet vagy ásvány, amelyből gazdaságosan állíthatók elő fémek vagy fémvegyületek. Megnevezésük a belőlük kinyerhető fémek szerint történik: vasérc, ólomérc, cinkérc, stb. Leggyakoribbak az *oxidos*, *szulfidos* és *karbonátos* ércek.

A fémkinyerés gazdaságosságát meghatározza az érc fémtartalma, ill. az ércben lévő fémvegyületek feltárhatósága.

Az ércek előfordulása:

- lencsékben: más kőzetekbe ékelődve, lencse alakban
- tömbben: egy tömbben, elágazás nélkül, közel gömb alakban helyezkedik el
- telérben: régebbi kőzetek repedéseit tölti ki.

Az ércek bányászata külszíni vagy mélyművelésű bányákban történik.

A *külszíni ércbányászat* esetén az ércek keménysége miatt szinte minden esetben robbantásokat kell végezni.

A *mélyművelésű ércbányászat* alkalmazhatja a (szénbányászatnál is alkalmazott) fúró-robbantó-rakodó módszert, illetve meredek telepben az ún. tároló vagy magazinfejtést.

A magazinfejtés jellemzői:

- a fejtés széles homlokú (50-100 m)
- a fejtést alulról felfelé kezdik, az ércen állva
- az első fejtést leengedik a gurítókon, később tárolják
- 40-50 m lefejtése után az emberek kivonulnak a bányából, s leengedik a lefejtett ércet
- nincs biztosítás, ezért csak omlásveszély kizárása esetén alkalmazható.

2.1.3 Kőolaj- és földgázbányászat

Kőolajtelepek keletkezése, bányászata:

A kőolaj természetes eredetű szénhidrogének bonyolult összetételű elegye. Legfontosabb vegyülettípusaik a paraffinok, a naftének és az aromások. Emellett kén- és fémtartalmú vegyületeket is tartalmazhatnak.

Apró növények és állatok szénhidrátjából, fehérjéiből és zsíryaagaiból keletkezett, anaerob körülmények között, baktériumok, enzimek, nyomás, hő, ásványi katalizátorok hatására, sekély, partközeli vizekben, főként tengeri szerves iszapból.

A karbon és a hidrogén többsége telített szénhidrogén formájában van. Nyomokban megtalálhatók a kőolajban a következő elemek is: Cl, I, P, As, Si, K, Na, Ca, Mg, Fe, V, Al, Zn, Cu, Ni.

A kőolajtelepek kialakulása: A kőolaj és a földgáz a kőzetrétegek nyomására kipréselődött az agyagos rétegből és vándorolni kezdett a szemcsés, porózus, vagy repedezett tárolókőzetbe. A tárolókőzetben átnemeresztő kőzetek alatt, a csapdákban halmozódik fel.

A kőolajtelepen alul víz, felette kőolaj, legfelül pedig legtöbbször gáz helyezkedik el.
/ 2. ábra /

A kőolaj bányászata fúrótoronyok segítségével történik, melynek alapfelülete 10 x 10 m, magassága 40-60 m. A fúrókat fúróiszappal hűtik.

A kitermelés módjai:

- a kőolaj feletti gáz bepréseli az olajat a fúrólyukba
- szivattyúzás
- víz vagy gáz bepréselése
- fúróhelyek felmelegítése forró vízzel vagy gőzzel
- atommagenergia felhasználásával.

A kőolajat fosszilis energiahordozóként, illetve vegyipari alapanyagként használjuk fel. Környezetszennyezést a kén tartalmú kőolajok, illetve azok párlatai, termékei okozhatnak. Megfelelő kén-telenítéssel ez elkerülhető. Főként a lepárlási maradványok, fűtőolajok elégetése esetén nehézfém-szennyeződés veszélye is felléphet.

2. ábra: Kőolajtelepek elhelyezkedése és a rétegenergia-fenntartásának elvi vázlata [8]

1 – vízleválasztó, 2 – gázleválasztó, 3 – gázfeldolgozó, 4 – szivattyú, 5 – kompresszor, 6 – olajelvezetés, 7 – gáz elvezetés, 8 – gázolinelvezetés, 9 – idegen víz, 10 – víz visszanyomás, 11 – víztartalmú olaj, 12 – gáztartalmú olaj, 13 – gáz visszanyomás, 14 – idegen gáz

A földgáz jellemzése:

A földgáz szélesebb értelemben a földfelszín alatt a kőzetek, üledékek pórusaiban, repedéseiben, az átnemeresztő réteg alatt felhalmozódó különböző összetételű gázok összefoglaló elnevezése. Ezek lehetnek szénhidrogének, nemesgázok, illetve széndioxid.

Szűkebb értelemben a kis sűrűségű szénhidrogéneket nevezzük földgáznak, amelyek főként telített szénhidrogénekből állnak.

A földgáz fő alkotó része a metán, amellet még nitrogént és széndioxidot tartalmaz.

A *száraz földgáz* tiszta földgázlelőhelyről származik, metántartalma 90 % felett van.

A *nedves földgáz* kőolaj-lelőhelyekről származik és a metán mellett etánt, propánt, butánt, pentánt, hexánt, heptánt, széndioxidot, kénhidrogént, nemesgázokat, nitrogént tartalmazhat.

A földgáz felhasználása:

- a) fosszilis energiahordozó, kis kén tartalma következtében – a fosszilis tüzelőanyagok körében – legkevésbé szennyezi a környezetet,
- b) kohászatban (csökkenti a kokszigényt)
- c) vegyipari alapanyag

A *földgázüzemű autó* sok szempontból kedvezőbb üzemeltetésű a benzinüzemeltetésűvel szemben, kevésbé szennyezi a levegőt, a talajt és a vizeket. Széles körű elterjedésének egyik legdöntőbb oka, hogy – bár készletei a kőolajénál nagyobbak – a földgáz sem megújuló energiaforrás.

2.2 Kohászati technológiák

2.2.1 Ércelőkészítés

A bányászat által kitermelt érceket a legtöbb esetben nem lehet közvetlenül gazdaságosan kohósítani, mert a sok meddő elsalakosítása nehéz és költséges.

Az ércelőkészítés célja:

- az érc dúsítása, azaz fémtartalmának elválasztása a meddőtől
- pörkölés, zsugorítvány készítése, vagyis a nem oxidos ércek oxiddá alakítása

Az ércelőkészítés műveletei:

- a) aprítás
- b) osztályozás
- c) dúsítás
- d) pörkölés
- e) darabosítás

a) Aprítás

Az aprítás célja az érc fémtartalmú és meddő részeinek szétválasztása, az érc feltárása.

Az aprítás fokozatai:

- durva aprítás $d > 30 \text{ mm}$
- közepes aprítás $1 \text{ mm} > d > 30 \text{ mm}$
- finom aprítás $0 \text{ mm} > d > 1 \text{ mm}$

Az aprítás történhet szárazon, vagy nedves eljárással. A nedves eljárás a környezetszennyező porzást megakadályozza, de a keletkező zagyot, amely durva aprításkor, illetve iszapot, amely finom aprításkor keletkezik, kezelni kell.

Durva aprítás

A durva aprításhoz használt berendezések a pofás törők és a kúpos törők.

A *pofás törők* egy álló és egy ehhez váltakozva közeledő-távolodó mozgó pofából állnak. Közeledéskor az ércet törik, távolodáskor a megtört érc lefelé csúszik. A ferde törőpofa lengő mozgatása általában szögemelős áttétellel történik, excenter, hajtórúd és tolólemezek segítségével. A lengő pofa rugós alátámasztású.

A *kúpos törők*ben mindkét törőpofa kúpfelületű. Az egyik rögzített, a másik, felfüggesztési pontja körül, excentrikusan forog. Folyamatos működésűek, ezáltal jobb az energiakihasználásuk, s a teljesítményük, mint a pofás törőknek.

Közepes aprítás

A közepes aprítás gépei a pofás törők, kúpos törők, kalapácsos malmok és a hengeres törők.

A pofás törők nagyobb fordulatszámúak, mint a durva aprítás pofás törői, és az egyik pofát mindig domborúra képezik ki. A kúpos törők egyik, vagy mindkét törőfelülete domború.

A *kalapácsos malmok* páncéllemezekkel vagy rudakkal határolt térben, egy vízszintes tengely tárcsáin lazán felfüggesztett kalapácsokból állnak. A kalapácsok

forgás közben, a centrifugális erő hatására, sugár irányú helyzetet vesznek fel. A kalapácsok kerületi sebessége 30-45 m/s. A lyuggatott köpeny szemnagyság szerinti osztályozást is lehetővé tesz.

Az *aprító hengerpárok* vízszintes, párhuzamos tengelyű, egymással szemben forgó hengerek. Sima felületű öntöttvasból vagy acélból készülnek. Az aprítás fokát a két henger közötti távolság határozza meg, amely állítható. A hengerek törése ellen rugalmas csapágyazást alakítottak ki.

Finomaprítás

A finomaprítás gépei a hengerek, a kalapácsos malmok, a kúpos törők, a görgős, golyós és rudas malmok.

A *görgős malomban* (Koller-járat) két, vas- vagy acélöntvényből készült zúzógörgő fut.

A görgők a forgatókaron keresztül csatlakoznak a tengelyhez. A forgatás kúpos fogaskerékkel történik. A tengelyre erősített lapátok a felaprított ércet a szitával lezárt kiömlőnyílás felé, a fel nem aprított ércet a zúzókerék alá terelik.

A görgők csúszva gördülnek, ezért a nyomóerő mellett nyíróerő is hat.

A *golyós malomban* az aprítandó anyag és az aprítást végző acélgolyók egy forgó dob belsejében helyezkednek el. Az aprítás a súrlódó-, centrifugális -, és gravitációs erő hatására jön létre. Az őrlés hatékonyságát növeli, ha a golyók átmérője különböző. A legnagyobb golyóátmérő 15 cm, a legkisebb 2 cm.

A golyók a malom 55 %-át töltik ki. A dob alakja lehet hengeres és kúpos.

A golyós malmok a 25-40 mm-es ércet 0,75-3 mm-esre aprítják.

A golyós malmok hossza és átmérője közel azonos, a *csöves malmok* hossza átmérőjük többszöröse is lehet. Ezekben őrlőtestként kvarcitot vagy 4-6 cm-es acélgolyókat használnak. Finomabb őrlést valósítanak meg, az 1,5-8 mm-es szemcséket 0,5-0,05 mm-re őrlik. A *rudas malmok* hossza az átmérőjük kb. kétszerese. Az őrlőtestek a dob hosszával kb. azonos hosszúságúak.

b) Osztályozás történhet:

- szemnagyság szerint (durvább anyagok esetén)
- együttüledés szerint (finomabb 0,5 mm alatti szemcséknél)

A szemnagyság szerinti osztályozás eszközei

Rácssziták: acélrudakból vagy idomvasakból állnak. A két szomszédos profilvas közötti nyílás lefelé tágul, amelyen az anyag átesik.

Lemezsziták: 3-4 mm-nél durvább szemnagysághoz használhatók. A lemezek vastagsága a lyukbőség fele. A lyukak lefelé bővülnek.

Drótsziták: hossz- és keresztirányban fonott drótokból állnak. A szitanyílások négyzetesek, ritkábban téglalap alakúak.

A *dobsziták* lehetnek hengerek és kúposak. Fordulatszámuk kicsi, hogy az anyagot a centrifugális erő ne szorítsa a palásthöz. A dobátmérő növelésével nő a teljesítmény, a dob hosszát az osztályozás elérendő finomsága határozza meg.

A szita anyaga a durva osztályozáshoz acéllemez, a finom osztályozáshoz acél vagy sárgaréz drótszita, nedves osztályozáshoz, ha a víz savanyú kémhatású, foszforbronz. A síksziták teljesítménye nagyobb, a dobsziták egyenletes járásuk miatt üzembiztosabbak, és rákódásmentesebbek.

Együttüledés szerinti osztályozás és eszközei:

Az együttüledés szerinti osztályozás lényege, hogy az azonos sűrűségű és szemcseméretű ásványzemcsék víz- vagy levegőáramba helyezve azonos helyen ülepednek le. Az elválasztás hatékonyságát rontja, hogy a kis átmérőjű, nagy sűrűségű ércszemek együtt ülepednek a nagy átmérőjű, kis sűrűségű meddőszemekkel. Az együttüledés szerinti osztályozó berendezéseket áramkészülékeknek nevezzük.

A *csúcskád* lefelé csökkenő keresztmetszetű, csonkagúla alakú víztartályokból áll.

/ 3. ábra /

Az osztályozandó zagyot a legkisebb csúcskádba vezetik be, amelyben a nagy sűrűségű, nagy szemcse-nagyságú részek ülepednek le. A szilárd részek a kádak alján lévő hattyúnyak segítségével folyamatosan elvezethetők.

3. ábra: Csúcskád [1]

A *Dorr-féle gereblyés osztályozó* lejtősfenekű kádból áll, amelyben egy gereblyét mozgatnak, elliptikus pályán. Amikor a gereblye a lejtőn felfelé mozog, leér a fenekére és a leülepedett anyagot felfelé szállítja. Lefelé mozgáskor felemelkedik a fenékről és csak a lefelé mozgás végén süllyed el.

A *szalagos osztályozó* / 4. ábra / működése hasonló a *Dorr-osztályozó*hoz. A gereblyét végtelen szalagra erősített lapátok helyettesítik.

4. ábra: Szalagos osztályozó [1]

A *Dorr-sűrítő* / 5. ábra/ hengeres edényének középvonalában lassan forgó henger van. A tengelyről karok nyúlnak ki, ezeken terelőlapátok vannak, melyek felül, a közepén beadott zagyból a nagyobb sűrűségű részeket a sűrítő fenekének közepén lévő nyílás felé terelik. A zagyot szivattyú szívja el, a lebegő részek a túlfolyón távoznak el.

5. ábra: Dorr-sűrítő [1]

A *hidrociklon* hengeres-kúpos, függőleges tengelyű, kis átmérőjű tartály. A hengeres részbe tangenciálisan vezetik be a zagyot, nagy sebességgel. A víz a finom szemcsékkel a felső kifolyón távozik.

c) Dúsítás

A dúsítás történhet fizikai és kémiai úton. A kémiai dúsítással a *hidrometallurgia* foglalkozik.

A fizikai dúsítás legegyszerűbb, legrégebbi fajtája a *kézi válogatás*.

Az *ülepítőgépek* működése az áramkészülékekéhez hasonló. A különbség az, hogy az áramkészülékekben a folyadék áramlása egyirányú, az ülepítőgépben pedig változó, függőlegesen fel-le hullámzó.

A durva dugattyús ülepítőgépben egy excenterrel mozgatott dugattyú helyezkedik el, valamint egy lépcsőzetes elrendezésű szítasor.

A *szérelés* áramló közegben végbemenő szétválasztási eljárás. Az anyagot lejtős felületen vékony vízárammal végigfolyatják. A nagy átmérőjű, kis sűrűségű szemek gyorsabban mozognak a lejtőn, mint a velük együttülepedett kis átmérőjű, nagy sűrűségű szemek, így a szérelés az együttülepedés szerinti osztályozás után jól alkalmazható.

A *mágneses szeparálás* az ásványok különböző mágnesezhetőségén alapuló szétválasztási eljárás. Az anyagok, a mágnesezhetőség szempontjából lehetnek paramágneses anyagok, amelyek a mágneses erővonalakat összesűrítik, diamágneses anyagok, amelyek a mágneses erővonalakat ritkítják.

Azokat a paramágneses anyagokat, amelyek mágnesezhetősége függ a mágneses térerősség nagyságától ferromágneses anyagoknak nevezzük.

Paramágneses anyag pl. az alumínium, platina, oxigén, stb., diamágneses az antimon, réz, higany, kén, bizmut, stb., ferromágneses a vas, nikkel, kobalt, stb.

A *kettős dobszeparátor* két dobból áll, melyekben álló mágnesek vannak elhelyezve. A dobok azonos irányban forognak. A két dob fordulatszáma és mágneses térerőssége különböző. A gyengén mágneses szemcsék hamarabb lehullanak a dobról a tartályba.

A mágneses szeparátorok lehetnek szalagos megoldásúak is. Ekkor az anyag egy szállítószalagon halad keresztül, amely mágneses erőterben van elhelyezve.

A *flotálás* olyan ércelőkészítési dúsító eljárás, amelyben az érc és a meddőközet szétválasztása eltérő nedvesíthetőségükön alapul. Megkülönböztetünk hidrofil, jól nedvesíthető és hidrofób, nem nedvesíthető ásványokat. A felaprított, nagy felületű ércet vízben szuszpendáltatják és levegőt fúvatnak a szuszpenzióba. Az elválasztás hatékonyságát adalékanyagokkal növelik.

A *pörkölés* levegőn történő hevítés, amelynek során oxidációs folyamatok játszódnak le. A pörkölés során csökken az anyag tömege, s ezáltal a szállítási költségek

alacsonyabbak lesznek. A további feldolgozáshoz használt berendezések teljesítménye is nő. A pörkölés célja lehet a könnyebben kohósítható oxidok, szulfátok előállítása vagy a vas mágneses oxidjának előállítása.

A pörkölés berendezései:

- aknás kemence
- etázsos pörkölő kemence
- forgódobos kemence
- fluidizáló reaktor

Az *aknás kemence* a legegyszerűbb pörkölő berendezés. A kemencét a rostélyon elégetett szénnek fűtik. Kis teljesítményű, nagy tüzelőanyag-igényű eljárás.

Az *etázsos* vagy többszintű kemencék belső tere vízszintes munkaterekre van osztva, amelyekben az érc, forgó gereblyék segítségével felülről lefelé haladva fokozatosan pörkölődik.

A *forgódobos kemence* egy ferde forgó henger acél, amelyet belülről kopásálló, hőszigetelő béléssel látnak el. Az érc szemben haladva a füstgázzal alakul át pörkölékké jó energetikai hatásfok mellett.

A *fluidizáló reaktor* a legkorszerűbb, nagy teljesítményű pörkölő berendezés. A levegő nyomása lebegtetett állapotban tartja az ércet, s ezáltal az oxidációs felület megnő. Beruházási és üzemeltetési költségei alacsonyak. Alkalmasak pirit, Zn-porok, Pb-porok, stb. pörkölésére, timföldhidrát kalcinálására, mészégetésre, stb.

d) Darabosítás

A darabosítás célja a nem kohósítható, aprószemcsés, poros ércék agglomerálása, azaz a részecskék tömörítése a kohósítás előtt. A darabosítás megvalósítható zsugorítással és pelletezéssel.

Zsugorításkor az érc könnyebben olvadó alkotói megolvadnak és összeragasztják az ércszemeket. Az anyagnak porózusnak kell lennie, hogy a levegő átjárhassa.

Tüzelőanyagként kokszot alkalmaznak, kivéve a szulfidos ércok zsugorítását, ahol a pörköltendő érc kéntartalma biztosítja a megfelelő hőmérsékletet.

Ha az ércben túl sok a fémszulfid, a hőmérséklet túl magas lesz, amit összeolvadást okoz. Ekkor hőfogyasztó anyagot, pl. mészkövet adagolnak az elegybe, amelyre a későbbi olvasztáskor úgyis szükség lenne. A kellő porozitás biztosítására és a porzasi veszteség csökkentésére az ércet 8-10 % vízzel nyirkosítják.

A zsugorító pörköltés lehet levegő-átszívós és levegő-átfújós rendszerű. Az átszívós pörköltés elvi vázlata a 6. ábrán látható.

6. ábra: Átszívós zsugorító pörköltés [1]

A *pelletezés* a legkorszerűbb érc, ill. dúsítmánydarabosító eljárás. A pellet angol eredetű szó, golyóképzést, golyósítást jelent.

A pelletezésre kerülő anyagokat – amelyek max. 0,20 mm szemnagyságú ércok, iszapszerű anyagok vagy ércok dúsításából származó koncentrátumok, vörösiszap, mangániszap, szállópor, stb. lehetnek – 7-10 % nedvességtartalomra megnedvesítik majd kötő- és adalékanyag hozzáadásával, vagy anélkül, enyhén lejtő pelletező dobban, vagy ferdén elhelyezett pelletező tányéron addig görgetik, amíg az ércporból 3-40 mm nagyságú ércgolyók képződnek.

A pelleték átmérője nő, ha nagyobb a tartózkodási idő a berendezésben, ill. ha a dob vagy a tányér dőlési szöge kisebb. A nyers pelleteket felhasználás előtt ki kell égetni. Az égetés során nő a pellet szilárdsága. A kiégetés történhet aknás kemencében, forgódobos kemencében és zsugorító szalagon.

A zsugorító berendezések lehetnek:

- szakaszos üzemeltetésűek (üstök)
- folyamatos üzemeltetésűek (forgó asztal-készülékek, szalagok)

Az ércelőkészítés során jelentős porképződéssel, illetve levegőszennyezéssel kell számolni, és a vízszennyezés és zajhatás is komoly környezetvédelmi beavatkozásokat tesz szükségessé.

2.2.2 Nyersvasgyártás

A *nyersvasgyártás* során az oxidos vagy oxiddá alakított, előkészített vasércből redukcióval nyersvasat állítanak elő. A gyártás berendezése a *nagyolvasztó*. Redukáló anyag a koks, a kokszból keletkező CO, és a kohóba fúvatott szénhidrogénekből származó hidrogén, karbon és szénmonoxid.

A nyersvasgyártás bemenő anyagai az ún. *betétanyagok*:

- Fémes betétanyagok
- Salakképző anyagok
- Hőenergia-hordozó és redukáló anyagok
- Segédanyagok

Fémes betétanyagok:

A fémes betétanyagok elsődlegesen a vasérc, másodlagosan az egyéb technológiák nagy vastartalmú hulladékai.

A vasércék fajtái:

- Mágnesvasérc, magnetit (Fe_3O_4): finom szemcséjű, kagylós törésű, fekete színű, mágneses vasérc, vastartalma 60-70 %.
- Vörösvasérc, hematit (Fe_2O_3): barnászörös, kristályos vagy földes, tömött alakú, könnyen kohósítható vasérc, vastartalma 40-60 %.
- Barnavasérc, limonit ($2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$): a leggyakrabban előforduló, barnás-fekete színű, nagy víztartalmú vasérc, vastartalma 28-40 %.
- A vaspát, sziderit (FeCO_3), sárgás-szürke, 30-40 % vastartalmú vasérc.

A vasgyártás egyéb fémes betétanyagai:

- a piritpörk, amely kénsav-gyártáskor keletkezik,
- a vörösiszap, amely a timföldgyártáskor keletkezik,
- a nagy vastartalmú salak, amely célgyártáskor keletkezik.

Salakképző anyagok:

A *meddő* anyagok, vagyis az ércék értékes fémeket nem tartalmazó kísérő vegyületei, valamint a kohósítás során nem redukálódott fémoxidok a nyersvasgyártás magas hőmérsékletén megolvadnak és salakot képeznek. A salak kisebb sűrűségű, mint a nyersvas, ezért annak a tetején úszik. A meddő általában savas kémhatású, ezért a salakképző anyag legtöbbször bázikus: mészkő, dolomit, ritkábban égetett mész. Bázikus érc esetén kvarcitot alkalmaznak.

A salak szerepe a kohósítás folyamán:

- biztosítja a nyersvasfűrdő egyenletes hőmérsékletét, elősegíti a kémiai reakciókat (pl. kéntelenítés),
- védi a fűrdőt az oxidációtól,
- elősegíti a gáztalanítást.

Hőenergia-hordozó és redukáló anyagok:

A nagyolvasztókoksza:

A koksza szerepe az olvasztás folyamán:

- tüzelőanyagként biztosítja a megfelelő hőmérsékletet,

- redukálószer, és redukáló gázt fejleszt (CO)
- ötvözőszer,
- fenntartja az anyagoszlop megfelelő gázáteresztő-képességét.

A kohósításhoz jól alkalmazható kokszt nagy karbontartalmú és fűtőértékű, nedvesség- és kéntartalma kicsi, egyenletes szemcseméretű, nagy porozitású, és megfelelő szilárdságú.

Segédanyagok:

A nyersvasgyártás segédanyagai:

- a) a levegő
- b) a hűtővíz
- c) a tűzálló massa.

- a) A levegő a kokszt elégetéséhez szükséges, előmelegített, nagy nyomású, ún. *forrószél*.

Az előmelegítést a Cowper-rendszerű léghevítőkben (kauperekben) végzik. Az előmelegítéssel bejuttatott hőmennyiséggel 100 °C-onként 4-5 % koksztot takaríthatnak meg. A kauperek 25-35 m magas, hengeres, tűzálló téglával bélelt tornyok. Regeneratív rendszerű hőcserélők: az egyik periódusban az elégetett torokgáz füstgázait vezetik keresztül a rácsozaton, a másik periódusban az előmelegítendő levegőt. Kohónként általában három léghevítő dolgozik: kettőt fűtenek, egy léghevítőt át pedig levegőt fűtatnak. A levegő hőmérséklete 900-1200 °C.

- b) A nagyolvasztó falazatát intenzíven hűteni kell. A hűtővízigény igen magas, 30-35 m³/t nyersvas. A víz felmelegedése a hűtőszelvényekben átlagosan 9 °C.
- c) A tűzálló massa a salak- és a vascsapoló nyílás elzárására, ill. a belső tűzálló falazat kiegészítéséhez szükséges. Samottpor és kokszt keveréke. Szükséges mennyisége 30-50 kg/t nyersvas.

A nagyolvasztó felépítése:

A nagyolvasztó egy aknás kemence, amelybe felülről, a torkon keresztül adatolják az ércet, a kokszt és a mészkövet, a folyékony nyersvasat és salakot pedig alul csapolják.

A nagyolvasztó fő részei, a 7. ábra jelölései alapján:

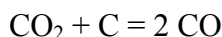
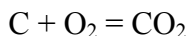
- a) *Torok:* itt történik az adagolás és a gázelvezetés
- b) *Akna:* az ércet fokozatosan előmelegednek és redukálódnak
- c) *Szénpoha:* a CO bomlik, C-kiválás következik be
- d) *Fúvóöv:* itt történik a kokszt elégetéséhez szükséges meleg levegő befúvatása
- e) *Nyugvó:* a beadagolt anyag olvadni kezd
- f) *Medence:* itt gyűlik össze a folyékony nyersvas és a salak, amelyet időnként lecsapolnak
- g) *Fenék:* vaskitörések elleni biztosítással van ellátva
- h) *Torokzáró szerkezet:* biztosítja az adat megfelelő eloszlását, és megakadályozza a gázok kiáramlását.

A nagyolvasztó páncélzat és állványzat veszi körül. A nyersanyagot ferde felvonó szállítja a torokra. A modern nagyolvasztók üzemének vezérlése automatikus. A nagyolvasztóból a nyersvasat 3-6, a salakot 1-15, óránként csapolják. A kohó nagyságától függően 20-50 t nyersvas folyik ki.

A nyersvasgyártás metallurgiai folyamatai

A kokszt égése:

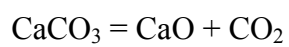
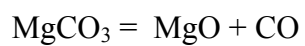
A fúvókák előtt a forró levegő elégeti a kokszt, a keletkező CO₂ az izzó kokszt karbontartalmával CO-vá redukálódik:



A reakcióban felszabaduló hő megolvasztja és túlhevíti a kohó fentebbi részében redukálódott vasat és a salakot. A hő egy részét a felszabaduló gázok magukkal viszik és biztosítják az aknában lejátszódó folyamatok hőigényét (az elegy előmelegítése, nedvességének és kristályvizének eltávolítása, karbonátok bomlása, hőt fogyasztó redukciók).

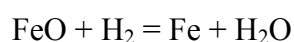
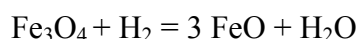
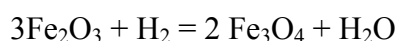
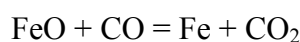
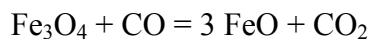
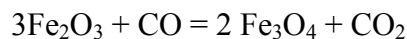
7. ábra: A nagyolvasztó [1]*Karbonátok termikus disszociációja*

A termikus disszociáció a molekulák hő hatására történő felbomlása kisebb molekulákra vagy atomokra (esetleg ionokra), endoterm folyamat.

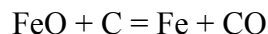
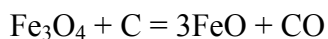
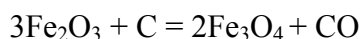


Redukciós folyamatok

Indirekt redukció esetén a redukálószer a CO, illetve a szénhidrogénekből felszabaduló H₂.



Direkt redukció esetén a koksz karbonja közvetlenül redukálja a vas-oxidokat. Ezek a folyamatok az akna alsó, magasabb hőmérsékletű részében, illetve a fúvósíkban játszódnak le:



A nyersvasgyártás termékei:

A nyersvas

A *nyersvas* olyan Fe-C ötvözet, amelynek karbontartalma 2,06-4,3 % között van. Fő ötvözői a Si, Mn, P, egyéb ötvözői a Cr, V, W, stb. A kén tartalom rontja a nyersvas tulajdonságait, ún. vöröstörékenységet okoz.

A *nyersvas* fajtái:

- az
- az *acélnyersvas* (fehér nyersvas) törete fehér, mert a benne lévő karbon vaskarbid, Fe₃C formában van.
- Az *öntészeti nyersvas* (szürke nyersvas) törete szürke, mert a benne lévő karbon grafit alakban van (a grafitos kristályosodást elősegítő Si-tartalma magasabb).

A salak

A *salak* a nyersvasgyártás mellékterméke, amely a felhasznált ércek nem redukálódott oxidjaiból, (meddő), a salakképzők oxidjaiból, a kokszhamuból é a falazat elhasználódásából származó tűzálló anyagokból áll.

A salak további felhasználására többféle megoldás is van, (ezeket *újrahasznosításként* értelmezhetjük):

- salakgyapot készítése: a salakot folyós állapotban nagy nyomású levegővel vagy gőzzel porlasztják, a kapott anyag jó hőszigetelő,
- a habsalak készítése: a folyékony salak vízzel érintkezve lyukacsossá válik, könnyűbeton készíthető belőle,
- útburkoló kocka készítése: a salakot formába öntik és sajtolják,
- vas-portlandcement készítése: a salakot nagy nagynyomású levegővel elporlasztják, osztályozzák és cementtel keverik össze,
- talajjavítás: a nagy CaO tartalmú salak a talaj meszezésére alkalmazható.

A torokgáz

A torokgáz a nyersvasgyártás során keletkező gázalmazállapotú anyagok összessége (jelentős – 25-30 % - CO tartalma miatt földházhoz keverve energiahordozóként használják és kevertgázként eltüzelik).

A szállópor

A *szállópor* a torokgázban lévő szilárd halmazállapotú anyagok összessége. Viszonylag nagy vastartalma miatt megfelelő ércelőkészítés után kohósítható. A torokgáz tüzelőanyagként történő felhasználása előtt a szállóport le kell választani.

A leválasztás történhet:

- porzsákokban vagy ciklonban, szárazon vagy nedvesen (*durva leválasztás*)
- Venturi-mosókban (*félfinom tisztítás*)
- Zsákos leválasztóban, vagy száraz, illetve nedves elektrosztatikus leválasztókban (*finom tisztítás*).

A nyersvasgyártás környezeti hatásai:

Légszennyezés: a torokgázon kívül légszennyezést okozhat a nyersvas csapolásakor a levegőbe kerülő grafit- és fémoxid-por. Ez ellen helyi elszívással és tömlős szűrővel védekeznek. Levegőszennyező az 1,2-2 % S-tartalmú salak is, mert a CaS-ből levegő hatására kén-dioxid, víz jelenlétében kénhidrogén képződik.

Tájrombolás: a nem hasznosított salakból kialakított salakhányók rontják a táj esztétikai hatását, a bennük lévő anyagok (pl. nehézfémek) káros hatásúak a *talajra, ill. a talajvízre*.

Vízszennyezés: a nyersvasgyártáskor nagy mennyiségben felhasznált hűtővíz, közvetlenül a befogadóba kerülve hőszennyezést okoz. Csökken a víz oldott oxigéntartalma, s ez veszélyezteti az élővizek élővilágát. Vízgazdálkodási és környezetvédelmi szempontból is a legjobb megoldás a *zártkörű, recirkulációs rendszer*, amelyben az ipari vizet – megfelelő kezelés után – újra felhasználják a folyamatban.

A hűtés célja a szerkezeti elemeknek olyan hőmérsékletet biztosítani, amelyen szilárdsági tulajdonságaik még megfelelőek.

A szükséges vízigény csökkenthető:

- fokozottan hőálló anyagok alkalmazásával,
- elgőzölögtető hűtéssel.

Az *elgőzölögtető hűtés* során a víz párolgási hőjével nagyobb hőmennyiséget lehet elvonni. A hagyományos vízhűtéssel 1 kg vízzel 20-65 kJ-t, míg elgőzölögtető hűtéssel 2416 kJ hőmennyiséget lehet elvonni.

A keletkezett gőz energiatartalma hasznosítható, vagy léghűtéssel kondenzálható és zárt rendszerben ismét felhasználható.

A nagykohó recirkulációs elgőzölögtető hűtőrendszere a 8. ábrán látható.

Zajhatás: a nagyolvasztók adagolásakor létrejövő nyomáscsökkenés lökésszerű zajt idéz elő. A szélvezeték zaja 110-120 dB-t is elérheti, amely hangszigetelő burkolattal 72-80 dB-re csökkenthető. A csapolónyílás fűrásakor és a fúvóka tisztításakor a gépház előtt mért zajszint 101-102 dB. Salaktöréskor 86-95 dB (A) érték mérhető.

8. ábra: A nagyolvasztó elgőzölögtető hűtőrendszere [1]

2.2.3 Acélgyártás

Az *acélgyártás* során a nyersvas C-tartalmát és egyéb szennyező anyagait oxidációval csökkentik, illetve távolítják el.

Az *acél* max. 2,06 % C-tartalmú, nagy szilárdságú, jól alakítható Fe-C ötvözet.

Az acélgyártás fő folyamatai:

- *frissítés*: oxidációs folyamat
- *dezoxidálás*: a frissítés során oxidálódott vas redukálása
- *ötvözés*: az acél végleges összetételének beállítása.

Az acélgyártás alapanyagai:

- a betétanyagok és az
- oxigént biztosító anyagok.

Az acélgyártás betétanyagai:

Az *acélnyersvas* az acélgyártás alapanyaga. Megfelelő összetételét az egyes *acélgyártási eljárások* előírhatják (pl. Bessemer-eljárásnál nagy Si-, Tomas-eljárásnál nagy P-tartalom szükséges).

Az *acélhulladék* (ócskavas) szintén alapanyag, felhasználhatósági aránya az egyes gyártási technológiákban különböző (pl. elektrobetétben 85-100 %, oxigénes eljárásnál 70 % felett is lehet).

Az *ötvöző anyagok* legtöbbször fémek, amelyeket ferroötvözetek formájában adagolnak a betétbe, de lehetnek nemfémek és gázok is.

A *frissítő ércek* oxigénhordozóként kerülhetnek a betétbe, ha vastartalmuk Fe_2O_3 alakban van, és nem tartalmazzak nem kívánatos mennyiségben P-t, S-t, As-t és egyéb szennyezőket.

A *salakképző anyagok* többfélék lehetnek:

- *égetett mész*: bázikus acélgyártásnál, foszfortalanításra és kéntelenítésre használják,
- *mészke*: martinkemencéknél használják, de gyakran alkalmazzák égetett mész helyett is,
- *folypát*: a nemesacélgyártásnál salakfolyósítóként használják,
- *bauxit*: bázikus frissítő salakok folyósítására használják, olcsóbb, mint a folypát, de kevésbé hatásos,
- *kvarchomok*: a savanyú salak alapanyaga,
- *salakredukáló anyagok* (antracit, faszén, koks, Ca-karbid, stb.): a salak vas-, mangán-, és egyéb nehézfémoxidjainak redukálására használatosak.

Oxigént biztosító anyagok

- a *levegő*, amely 21 % oxigént tartalmaz
- a *tiszta oxigén*
- *vasoxidok és ércek*.

Acélgyártó eljárások:

Szélfrissítéses (konverteres) eljárások:

A szélfrissítéses acélgyártó eljárásoknál a nyersvason keresztül levegőt vagy oxigén fúvatnak át. Berendezésük egy körtealakú, tűzálló anyaggal bélelt tartály, az ún. konverter, melynek felső vége csonkakúp alakú.

Bessemer eljárás

Az első szélfrissítéses kísérleteket Bessemer végezte, 1856-ban. Eljárásának lényege, hogy a szükséges hőmennyiséget nem külső tüzeléssel, hanem a nyersvasban lévő elemek (Mn, Si, P, C) oxidációs hőjével biztosította. 1 % Si kiégésekor a fürdő hőmérséklete 200 °C-kal, 1 % Mn kiégésekor 50 °C-kal, 1 % Fe kiégése 30 °C-kal, 1 % C kiégése 160 (ha CO₂ keletkezik) és 35 °C-kal (ha CO keletkezik) növekszik.

A savas bélésű konverter fenekén 150-300, kb. 15 mm-es átmérőjű lyuk van, amelyeken levegőt, ill. oxigént lehet befúvatni.

Az eljárás lépései / 8. ábra /:

- a) betöltés
- b) fúvatás
- c) csapolás

Az egész folyamat 20-25 percig tart. A dezoxidálást az öntéskor végzik el.

8. ábra: Bessemer-féle konverteres acélgyártás [1]

(a – beöntés, b- fúvatás, c – csapolás)

Thomas-eljárás

Az eljárás nagy P-, és kis Si-tartalmú nyersvasak acéllá történő feldolgozására alkalmas.

A konverter bázikus bélésű. A foszfor, kiégése során, kalciumfoszfát alakban a salakba kerül.

1 % P kiégése kb. 100 °C-kal növeli a fürdő hőmérsékletét.

Salakképző adagolásával (CaO) a kéntelenítés is megoldott.

A Thomas-salak, nagy P-tartalma következtében műtrágyaként hasznosítható.

LD-eljárás

Az eljárás lényege, hogy a konverterbe egy vízzel hűtött, vörösréz fúvókán, a *lándzsán* keresztül a fürdő felületének közepére tiszta oxigént fúvatnak.

A befúvatott oxigén környékén kialakul egy nagy hőmérsékletű, 2500-3000 °C-os folt.

Az LD-konverter alakja hasonló a hagyományos konverteréhez, de a feneke tömör (igen elterjedt, a XX. Század végére teljesen kiszorította a Siemens Martin acélgyártást).

Az eljárás előnyei:

- gyors vegyi folyamatok, nagy salakhőmérséklet, élénk fürdőmozgás
- a nagy hőfejlődés miatt 15-20 % hulladékvasat is lehet adagolni
- nem szükséges különleges összetételű nyersvas
- nincsenek kéntartalmú égéstermékek.

Kaldó-eljárás

A bázikus bélésű konverter 15-20 fokra megdöntött, és kb. 30 ford/min sebességgel forog. A forgás elősegíti az intenzív keveredést, s ezáltal a foszfortalanítás és kéntelenítés folyamatát is.

A nyersvas felületére oxigént fúvatnak, a fúvatás ideje 30-40 perc, 40-50 % hideg ócskavas is beolvasztható.

Rotor-eljárás

A rotor vízszintes tengelyű, 0,1-0,5 ford/min sebességgel forgó kemence. Az oxigén ez részét a fürdő szintje alá, a másik részét a fürdő felületére fúvatják, így a hőhasznosítás megnő. Nagy P-tartalmú nyersvasak feldolgozására használják.

Elektroacélgyártás

Az ívkemencében történő elektroacél-gyártáskor a betét megolvasztásához és az acélfürdő hevítéshez szükséges hőt az elektródák között keletkező ív biztosítja.

Az ívek egyik sarka a fémbetét, a másik sarka szén-, vagy grafit elektród.

Az ív hőmérséklete 3000-3500 °C, a feszültség 100-600 V, az áramerősség a 40 000 A-t is eléri. A kemencét három fázisú váltakozó árammal táplálják, azaz három elektróddal három ívet hoznak létre / 9. ábra /.

A kemence falazata lehet:

- bázikus, ha a cél a foszfortalanítás és kéntelenítés
- savas, öntvénygyártási célra

Betétanyagok:

- acélhulladék (900 kg/t acél)
- nyersvas
- ötvöző anyagok
- oxidálószer (vasérc vagy reve)
- karbonizáló anyagok (koks, elektródatörmelék)

Az ívkemencében történő acélgyártás előnyei:

- nem szennyező fűtőenergia, nagy hőmérséklet
- az eljárás jól szabályozható
- tökéletes dezoxidálás
- a S és a P könnyen eltávolítható
- különleges, ötvözött acélok gyártására alkalmas.

Hátrányai:

- nagy villamosenergia-fogyasztás, drága eljárás
- kis termelékenység
- az acél gáztartalma kicsi, nitrogéntartalma viszonylag nagy.

9. ábra: Acélgyártó kemence (Heroult-kemence) [1]

Az indukciós kemencében történő acélgyártás során a betét megolvasztását és hevítését a váltakozóáram által a betétben ébresztett Joule-hő végzi.

A nagyfrekvenciás kemencéknél a salaknak nincs metallurgiai szerepe, mivel nem melegszik fel. Frissítési folyamat nem játszódik le, csak dezoxidálás. Főként erősen ötvözött acélok előállítására használják, öntészeti célra.

A betétet úgy állítják össze, hogy az olvasztás végén az előírt összetételt

Az acélgyártás környezeti hatásai:

Az acélgyártás során keletkező gázok CO-t, CO₂-t, füst- és porszennyezést (fémgőz és fénoxid) tartalmaznak.

A porszennyezésre jellemző az igen kicsi szemcseméret: ívfényes kemencénél a porok 65-70 %-a, LD-eljárásnál 20-50 %-a 5 µm alatti.

Egy 80 tonnás konverterből távozó gáz 1600-1650 °C-os, 60 % CO-t, 40 % CO₂-t és 12-15 kg/t acél vastartalmú gőzt tartalmaz. A konvertergáz színe miatt barna füstnek nevezik.

A konvertergáz tisztítása iparilag megoldott. Tisztítás előtt a gázt hűteni kell. A hűtést hőhasznosító kazánban végzik. A keletkező, mérgező hatású CO-t elfáklyázzák, a port nedves Venturi-mosóban választják le.

10. ábra: Konvertergáz tisztítása [1]

(1 – konverter, 2 – alsó gázhűtő, 3 – friss víz, 4- mosótorony, 5- zagyvíz, 6 – ventilátor, 7 – tisztított víz, 8 – fáklya, 9 – kémény, 10 – hangtompító, 11 – vegyszer-adagolás, 12 – főülepítő, 13 – előülepítő, 14 – vákumszűrő, 15 – zagy, 16- érczsugorító)

A konverter adagolása és csapolása során másodlagos porelszívást biztosítanak, az elszívott levegőt tömlős szűrővel tisztítják.

Az elektroacélműben 10-12 kg por/t acél keletkezik.

Kezelésük történhet:

- csarnok-elszívással,
- a kemence-boltozatba beépített vízhűtéses elszívócsokon keresztül.

AA füstgáz tisztítására zsákos szűrőt, nedves leválasztót és elektrosztatikus leválasztót alkalmazhatnak. Az elszívó berendezések zaját hangcsillapító elemek csökkentik.

A konverteres acélműnél a porleválasztáskor és a folyamatos öntéskor keletkezett (reve és olajtartalmú) recirkuláltatott víz tisztítását vegyszeres kezeléssel kiegészített ülepítéssel végzik. A szennyvíziszapok víztelenítése vákuum-szűrővel történik.

2.2.4 Alumíniumgyártás

Az *alumíniumgyártás* során az Al ércéből, a bauxitból először tiszta Al-oxidot, timföldet állítanak elő, majd elektrolízissel fém alumíniumot.

Az alumíniumgyártás alapanyagai:

A bauxit

A bauxit túlnyomórészt Al-hidroxidokból és oxidokból álló érc. Színe – vastartalmától függően – vörösesbarnától zöldes színig terjedhet.

Legfontosabb ásványai: a höbmit, a diaszpor és a hidrargillit. A bauxit ipari hasznosíthatósága az ún. kovasav modulustól (m) függ.

$$M = \text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$$

Az ércben lévő SiO_2 a timföldgyártás folyamán Na-Al-hidroszilikátot képez, vagyis a lúg- és Al-veszteséget okoz, ezért a modulusnak 8-nál nagyobb értékűnek kell lennie.

A kriolit

A kriolit (Na_3AlF_6) többnyire szintelen, a természetben előforduló ásvány. Mesterségesen is előállítják.

Az Al-gyártás fontos segédanyaga. Az olvadék-elektrolízis során csökkenti az olvadék olvadáspontját.

Fluor-tartalma miatt környezetszennyező hatású.

A fluor toxikus hatású, nagy reakcióképességű anyag. Megtámadja az üveget a fémeket, elbontja a vizet, a szilikátokat, oxidokat, stb. A szerves anyagokat fuortartalmú szénvegyületek képződése közben bontja.

A nátronlúg

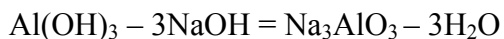
A bauxit feltárására tömény NaOH oldatot használnak, amely maró hatású, toxikus anyag.

Az alumínium előállítása

Timföldgyártás

A Bayer-eljárás főbb technológiai lépései / 11. ábra /

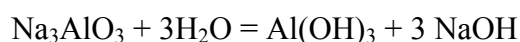
- a) Az *előkészítés* (örlés) célja, hogy a bauxitot minél finomabbra aprítsák, s ezzel elősegítsék a feltárást.
- b) A *feltárás* (oldás) során a bauxitban lévő Al-hidroxidok Na-alumináttá alakulnak. A lejátszódó legfontosabb bruttó reakció.



A zagyot szivattyú nyomja a gőzzel fűtött autoklávba, majd az oldatot ülepitéssel szétválasztják a nem oldódott részekről, az ún. vörösiszaptól.

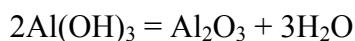
11. ábra: A Bayer-eljárás folyamatábrája [1]

- c) A *kristályosítás* (kikeverés) során az oldatból az Al-hidroxidot kikristályosítják. Az oldatot vízzel hígítják, lehűtik és kikeverik. Oltóanyagként szemcsés Al-hidroxidot adagolnak a kikeveréshez, amely gyorsítja a kristályosodást. A lejátszódó folyamatot hidrolízisnek nevezzük:



A keletkező lúgot bepárolják, és a nedves őrléshez visszajáratják, így a benne lévő Na-aluminátot újrahasznosítják.

- d) A *kalcinálás folyamán* a vákuum-dobszűrőkön megszűrt, mosott Al-hidroxidot (timföldhidrátot) forgó dobkemencében 1200-1300 °C-ra hevítik, amely eredményeként megkapják a tiszta timföldet (Al_2O_3):



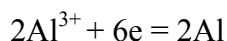
A timföld hőtartalmát levegő-előmelegítésre használják fel, rekuperatív hőcserélőben.

Elektrolízis

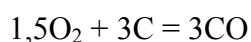
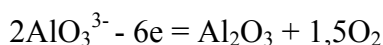
Az elektrolízis során a kriolitban oldott Al-oxidot az elektrolizáló kemence /12. ábra/ anódjának karbonja a elektromos áram segítségével redukálja fém alumíniummá. Az olvadékban lejátszódó disszociációs folyamat:



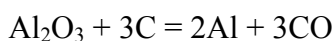
A *katód*folyamat:



Az *anód*folyamat:



A *bruttó* folyamat:



Az elektrolizáló kádak 5-7 V feszültséggel, 50-150 kA áramerősséggel működnek. A kádakat sorba kötik.

A katód a szénnel bélelt, az elektrolitot tartalmazó medence, amelynek az alján gyűlik össze az alumínium.

A kivált Al-t a felette lévő sóolvadék védi az oxidációtól.

Az anód feladata az áram vezetése, grafitból készül (Söderberg-anód). Anyagának tisztának kell lennie, hogy ne szennyezze a kivált alumíniumot.

Az elektrolízis közbe a felszabaduló oxigén az anódot oxidálja, a hamu szennyezi az elektrolitot, az anódon CO távozik.

Az Al csapolás vákuumüsttel történik. A nyers kohóalumíniumot finomítják.

12. ábra: Elektrolizáló kemence [1]

Az alumíniumgyártás környezeti hatásai

A bauxit darabolása, őrlése, szárítása során nagy mennyiségű por keletkezik. Az elszívott por koncentrációja 5-30 g/m³. A por leválasztására általában szövetszűrőt használnak, nagyobb porkoncentrációk esetén néha ciklont kapcsolnak a szűrők elé.

A kalcináló kemence füstgázainak hőmérséklete a leválasztó berendezés előtt 170-250 °C, portartalma 20-30 g/m³.

Porleválasztóként száraz elektromos leválasztót alkalmaznak, amely elé ciklont kapcsolnak. A leválasztott port visszajuttatják a technológiai folyamatban.

A füstgáz kén-dioxid tartalma a tüzelőanyag kéntartalmától függ.

Az elektrolízis során nem lehet megakadályozni, hogy a kriolit egy része is meg bomoljon és így fluor-tartalmú gázok képződjenek.

A ma már leginkább használatos *zárt kemencéket* billenő fedéllel látják el. A keletkező primer gázokat elszívják, és a kemencén lévő égőfejben elégetik.

Az éghető komponensektől mentesített cellagázt száraz ciklonba vagy elektrosztatikus leválasztóba vezetik.

A véggáz HF-tartalmát vízzel vagy Ca-hidroxiddal megkötik. A savas mosófolyadék HF tartalmából kriolitot lehet előállítani.

A fluormentesítés száraz, adszorpciós eljárással is végezhető, az adszorbens a később elektrolizálásra kerülő timföld.

A fedél nyitásakor keletkeznek az ún. szekunder gázok. Tisztításuk, nagy térfogatuknál fogva nehéz, így a szabad levegőbe jutnak, szennyezik a környezetet.

A *timföldgyár szennyvizeit* célszerű hármass csatornarendszerben elvezetni.

- a csapadékvíz csatornarendszerébe gyűjthetők a tisztítást nem igénylő szennyvizek,
- a lúgos szennyvizek nagy mennyiségben keletkeznek, ezeket semlegesíteni kell,
- a savas szennyvizek kisebb mennyiségben, az előkészítő, feltáró, bepárló üzemekben és a hűtőberendezések tisztításakor keletkeznek, felhasználhatók a lúgos szennyvizek semlegesítésére.

A semlegesített és ülepített vizet friss víz helyett visszaforgatott vízként lehet alkalmazni.

Az *elektrolizáló szennyvizei* általában nem igényelnek kezelést, közvetlenül a befogadóba vezethetők.

Az AL-gyártás nagy mennyiségben keletkező mellékterméke a vörösiszap (veszélyes hulladék). 1 tonna timföld termelésénél 0,5-1t vörösiszap keletkezik. Hazánkban 3 millió tonnára tehető az évente keletkező mennyiség. A vörösiszap főként Al, Ti, Fe és Si-vegyületeket tartalmaz.

Zagytereken tárolják. A hányókon kiszárad, porlik, a szél széthordja, s ezáltal szennyezi a levegőt. Nehézfémion-tartalma és lúgos kémhatása miatt szennyezi a talajt, szikesedést okoz és károsítja a talajélővilágát.

Újrahasznosítására több kísérlet folyik. A vörösiszapban feldúsuló ritkaföldfémek kinyerésére ipari megoldás is született (germánium kinyerése). A semlegesítés után útépitőanyagként való felhasználásra, és a vastartalom termikus hasznosítására végzett fejlesztési kísérletek eddig nem kerültek ipari alkalmazásra.

2.2.5 Szinesfémek kohászata

A *szinesfémek* a vason és a nemesfémeken kívül az összes színes nehézfém és ötvözeteik elnevezése.

A *nehézfémek* azok a fémek, amelyeknek sűrűsége 5g/cm^3 felett van.

A legfontosabb nehézfémek: Cu, Pb, Zn, Cr, Ni, Hg, Cd, Bi, V, As, Sb, Se.

A fenti elemek közül a Cu, Pb és a Zn kohászatával, illetve a nehézfémek környezeti hatásaival foglalkozunk.

2.2.5.1 *A réz kohászata*

A *rézgyártás* során a flotálással dúsított szulfidos részérceket pörköléssel oxiddá alakítják, majd redukáló olvasztással nyerik ki a fém rezet.

A *réz ércei* lehetnek szulfidosak, vagy (ritkábban) oxidosak.

A rézércek csak 1-2 % Cu-t tartalmaznak, ezért kohósítás előtt az érceket dúsítani kell, 5-15 % réztartalomra.

Az oxidos érceket (kuprit, Cu_2O) a szokásos eljárásokkal nem lehet dúsítani, ezért kohósításuk nem gazdaságos. Feldolgozásuk elektrometallurgiai úton lehetséges.

A gyakoribb szulfidos ércek: a kalkopirit (CuFeS_2), a kalkozin (Cu_2S), és a kovellin (CuS).

A szulfidos érceket flotálással dúsítják. A dúsítmányt tűzi úton kohósítják.

Szulfidos rézércek feldolgozása / 13. ábra /

A feldolgozás lépései:

1. *Dúsítás (flotálás)*
2. *Pörkölés*

Célja: a szulfidos rézércek réztartalmának további növelése, tűzi úton (részleges pörköléssel a vas nagy része oxid-alakban, a réz pedig szulfid-alakban lesz a pörkölékben)

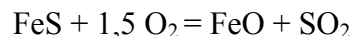
3. *Kéneskőre olvasztás*

A pörkölékhez szilikás salakképzőt adagolnak, és lángkemencében vagy aknás kemencében megolvasztják. Az alul elhelyezkedő olvadék a réz szulfidban dús, ún. nyers rezes-kéneskő, a vas nagy része pedig a salakba kerül.

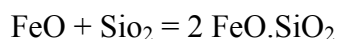
4. *Konverterezés*

A konverterbe öntött kéneskő-olvadékba levegőt fúvatnak.

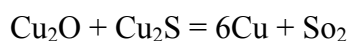
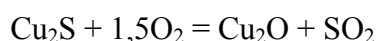
A lejátszódó reakció:



A keletkező vasoxid a salakba kerül:



A második lépésben a réz-szulfid oxidálódik és reagál a maradék réz-szulfiddal:



A keletkezett konverter-réz (nyers rész) még 2-3 % szennyeződést tartalmaz (Fe, Ni, Pb, Zn, S), ezért további tisztítására van szükség.

13. ábra: Szulfidos részércek feldolgozása [1]

A nyers réz tisztítása történhet:

- a) tűzi úton, oxidációval
- b) elektrolitos raffinálással (a tisztítandó rezet anódként kapcsolják, az elektrolit kénsav, a katód elektrolitréz-tábla)
- c) vákuum alatti olvasztással
- d) redukáló átolvasztással.

2.2.5.2 A cink kohászata

A *cink* korrózióálló, ezrét acéltárgyak bevonására alkalmas. Fontos ötvözője a réznek és az alumíniumnak.

A *cink ércei* a szfalerit (ZnS) és a cinkit (ZnO).

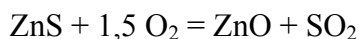
Kohósításra a szulfidos cinkérceket alkalmazzák.

A feldolgozás lépései:

1. Dúsítás

2. Pörkölés

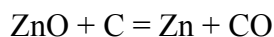
Az oxidáció reakcióegyenlete



3. Redukció

A keletkezett ZnO-ot zárt retortában, 1000 °C-on C-nal reagáltatják. A gázokat (CO és Zn-gőz) hűtött kondenzátorokba vezetik, ahol a Zn-gőz lecsapódik.

A játszódó reakció



4. Raffinálás

A cinket szennyezőanyagaitól (Fe, Pb, Cd) többféleképpen meg lehet tisztítani:

- a) csurogtató olvasztással, amelynek során a szennyezett cinket 430-450 °C-on lecsurogtatják, melynek eredményeként alul fog elhelyezkedni a nehezebb, ólomban dús fázis, fölötte a Zn- és Fe-vegyületek, és legfelül a cinkben dús fázis.
- b) Frakcionált desztillálással
- c) Elektrolitos raffinálással.

2.2.5.3 Az ólom kohászata

Az *ólom* a kémiai hatásoknak ellenáll, a kénsavval szembeni ellenállóképességét használják ki a kénsavgyártásban és az akkumulátor-gyártásban. Vegyülete, az ólomtetraetil a gépjárművek benzinjében adalékanyag. A biológiai sugárvédelemben nagy szerepe van.

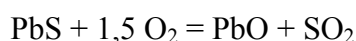
Az ólom leggyakoribb *érce* a galenit, PbS.

Szulfidos ólomércek feldolgozása

A technológia lépései azonosak a cink előállításánál ismeretekkel:

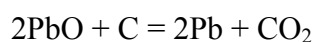
1. *Dúsítás*
2. *Pörkölés*

A pörkölés során lejátszódó oxidáció reakcióegyenlete:



3. *Redukció aknakemencében*

A redukciós folyamat:



4. *Raffinálás*

2.2.5.4 A színesfém-kohászat környezeti hatásai

A pörkölőből elvezetett gázok a kéndioxidon kívül jelentős mennyiségű port is tartalmaznak. A pörkgázok portartalmának tisztítására elektrosztatikus leválasztót

vagy szövetszűrőket alkalmaznak. A megtisztított gázok SO_2 -tartalma nagy, így kénsav-gyártásra felhasználhatók.

Az aknakemencéből felszabaduló gáz ércet, oxidokat és kokszot tartalmaz. Tisztítás után (elektrosztatikus leválasztó vagy szövetszűrő) a kéményen át a szabadba távozik. SO_2 -tartalma a kénsav-gyártáshoz alacsony, ám a környezetet szennyezi. A kéndioxid mennyisége a betét összetételétől és a tüzelőanyag összetételétől függ.

A légterbe kikerülő SO_2 savas esőt, korróziós károkat okozhat.

A színesfémek olvasztási salakja veszélyes hulladék, így bejelentésére, gyűjtésére, tárolására, ártalmatlanítására szigorú előírások vannak. A keletkező fémes hulladék újrahasznosítása beolvasztással megoldott.

A nehézfémek elemi állapotban is (Pb-gőz, Hg), de főként oldható sóik formájában toxikusan lehetnek. A természetben feldúsulnak (víz, talaj, növény, állat, ember). A savas eső hatására a közetekben, talajban lévő természetes nehézfémek kioldódhatnak, mobilizálódhatnak.

A nehézfémeket tartalmazó szennyvizek ülepítésekor a nehézfémionok a szennyvíziszapba kerülnek s az iszap mezőgazdasági hasznosíthatóságát korlátozzák.

2.2.6 Öntészeti technológiák

Az *öntés* a fémek folyékony állapotában történő alakításának művelete.

A folyékony fémot megfelelően kialakított *formába* öntik, amelyben a fém megdermed. Az így előállított tárgy az *öntvény*.

Az öntészeti technológiákat csoportosíthatjuk:

- a) a leöntött fém fajtája szerint (vas-, acél-, színesfém-, könnyűfémöntészet)
- b) a forma anyaga, ill. kialakítási módja szerint (homok-, fém-, precíziós-, stb.)

Az öntészeti technológiák főbb lépései:

1. Formázás
2. Olvasztás
3. Öntés
4. Öntvénytisztítás
5. Hőkezelés

2.2.6.1 Formázás

Az ötödei formák készülhetnek *homokból* és *fém*ből. A homokban készült formák a legrégebbi, ma is gyakran használatos formázási módok. Az egyes eljárások az alkalmazott kötőanyagokban, illetve a formázás módjában térnek el egymástól. A fémformák *tartós formák, amelyeket kokillának* nevezünk.

Öntvénykészítés homokformában:

A hagyományos öntödei formázókeverék:

Az öntödei formázókeverék homokból, kötőanyagból, adalékanyagokból és vízből áll.

Az öntödei homok

Az öntödei homok az öntvénygyártás egyik alapanyaga. A homok olyan anyag, amely kőzetek természetes vagy mesterséges aprításából származik.

Leggyakrabban a kvarchomokat használják az öntödékben, de ismeretesek az olivin, kerámia agyag, kromit, cirkon, stb. homokok is.

A formázó homokokkal szembeni követelmények:

- megfelelő tűzállóság: olvadáspontja nagyobb legyen, mint a fémé,
- képlékenység: a víz és kötőanyag hozzáadása után a mint alakját jól felvegye, és a mint kiemelése után is tartsa meg,
- szilárdság: öntés közben is tartsa meg alakját, az áramló fémnek ellenálljon,
- megfelelő gázáteresztőképeség: a fém dermedésekor felszabaduló gázok el tudjanak távozni, ne legyen hólyagos, lyukacsos az öntvény.

A jó öntődei homok egyenletes szemnagyságú, mosott, osztályozott homok, amely jó gáz-áteresztőképességgel rendelkezik. Ezért a homokot elő kell készíteni. A homok előkészítése mosásból, szárítástól, őrlésből, osztályozásból és mágneses szeparálásból áll. A használt homokot – megfelelő előkészítés után – újra felhasználják.

Kötőanyagok: olyan anyagok, amelyek kémiai és fizikai folyamatok hatására képesek folyékony vagy pépszerű állapotból szilárd halmazállapotúvá átalakulni, szilárd állapotukat tartósan megőrizni, és a velük összekevert részecskéket egységes tömeggé összeragasztani.

Összetételük szerint lehetnek:

- a) szervesetlen kötőanyagok: agyag, cement, vízüveg, stb.
- b) szerves kötőanyagok: olajok, gyanták (furan-, és fenolgyanta), olajok, cellulózszármazékok.

Adalékanyagok: alkalmazásának célja az öntvényhibák keletkezésének megelőzése, az öntvény minőségének javítása, a technológiai folyamat gazdaságosságának növelése.

Adalékanyagként legtöbbször kőszénlisztet alkalmaznak. Ennek szerepe, hogy a formában redukáló atmoszférát hoz létre, ezáltal meggátolja az öntvény oxidációját, és a képződött koks csökkenti a homokkeverék tágulását. Adalékanyagként bitumen, kátrány, aszfalt, lenolaj, stb. is használatos.

Üreges öntvények esetén a formába, az üregek helyére ún. *magokat* helyeznek. A magoknak nagy szilárdságúaknak kell lenniük. Általában lenolajos kvarchomokból készítik, fából készült magszekrényben.

A *minta* az öntvény „pozitív mása”, amely figyelembe veszi a fémbe öntés közben végbemenő zsugorodást. Anyaga legtöbbször fa, de készülhet fémből és műanyagból is.

Kézi formázás:

A kézi formázás menete: / 14. ábra /

- a mintát döngölőlapra helyezik
- a mintát befűjják petróleummal vagy választóporral, hogy ne ragadjon a formába

- ráhelyezik a szekrény egyik felét, a mintát először 3-10 cm vastagságban, majd teljesen bedöngölik formázókeverékkel, kézi, vagy sűrített levegős gépi úton,
- a formaszekrényt átfordítják és a mintát másik felével is elvégzik a fenti műveleteket,
- a formát szétszedik, kiveszik a mintát, és újra összerakják a formát.

A formázószekrénybe ún. *tápfejeket* helyeznek el, amelyek pótolják a zsugorodás következtében fellépő fém-veszteséget. A *beömlő rendszerrel* biztosítják a fém bejutását a formaüregbe. A forma levegőztetésének biztosítására 4-8 mm-es légzőnyílásokat szűrnak a forma közelébe.

Az ábrán látható minta (modell) beformázása, a beömlők, tápfejek elhelyezése, az üreg kialakításához szükséges mag előállítása a magszekrényben, s az összerakott forma.

Az öntés után kapott nyers öntvényen még rajta van a beömlőrendszer és a tápfej, amelyet az öntvény tisztításakor eltávolítanak.

A gépi formázás

A gépi formázást nagy sorozatú, tömeges öntvények gyártásához alkalmazzák (szíjtárcsa, fogaskerék, stb.). A gépi formázáskor általában mintalapot használnak, amely egy fa- vagy fém lap, s erre erősítik fel a mintákat. A formaszekrényeket (automatikus adagolóval) feltöltik homokkal, majd rázással vagy sajtolással tömörítik.

Egyéb formázási, öntési módok:

- *A precíziós öntést* nagy pontosságú, kis méretű (3 kg alatti), vékonyfalú, nehezen forgácsolható, bonyolult öntvények készítésére alkalmazzák (varrógépöntvények, motor-alkatrészek, turbinalapátok, stb.) Előnye, hogy hulladékanyagból is végezhető az öntés és utólagos megmunkálást alig igényel.
- *A kerámiaformálás* formázókeverékeit tűzálló őrleményekből és etilszilikátból készítik, a precíziós öntéssel hasonlóan. A különbség az, hogy ebben az esetben *állandó mintákat* alkalmaznak és *osztott formát*. A formázókeverékhez kötést gyorsító anyagokat kevernek, s az oldószert égetéssel távolítják el. A kerámiaforma drága, ezért sokszor csak a forma vékony felületi rétegét készítik ebből. Előnyei a precíziós öntéssel szemben, hogy a formázás olcsóbb, egyedi s nagy méretű öntvények gyártására is gazdaságosan lehet alkalmazni. Nagy pontosságú, sima felületű öntvények gyárthatók ezzel a technológiával. Kis darabok nagy sorozatgyártására a precíziós öntés előnyösebb megoldás. Kerámia

formában gyártanak pl. fémmintákat, magszekrényeket, alkatrészeket és szerszámokat.

- A *héjforma* vékonyfalú, egyszer használatos forma, amelynek anyaga mosott kvarchomok, kötőanyaga fenol-formaldehid novolak műgyanta. A mint fémből (öntöttvas) készül, mert fel kell melegíteni. A héjformában készült öntvények nagy pontosságúak, felületük sima, így a tisztítási és megmunkálási eljárások elhagyhatók. A héjforma gázáteresztő képessége nagy, ennek következtében a selejt csökken. A felhasznált homok mennyisége 80-95 %-kal kisebb, mint a hagyományos formázás esetén, s a használt homok regenerálható.

A héjformázás technológiai lépései:

- a 200 °C-ra melegített mintalapot a formázókeveréket tartalmazó tartály tetejére illesztik,
- a tartályt átfordítják, a keverék a mintalapra esik, s kb. 20 s múlva kialakul a 8-10 mm vastag héj,
- a tartályt visszafordítják és a mintalapot a héjjal együtt leemelik a tartályról, majd 250-350 °C-os kemencében kisütik, 23 percig.

A héjformázás magkészítésre is alkalmazható. A fémből készült, kb. 280 °C-ra előmelegített magszekrénybe befúvatják a keveréket, s a fölösleges homokot kipergetik. Az így kapott magok üregesek lesznek.

- A *kokilla* öntés jellegzetessége a rémből, legtöbbször öntöttvasból készült *állandó forma*. A kokilla belső üregét az öntvény zsugorodását és a kokilla hőtágulását figyelembe véve marógépekkel alakítják ki. A magot homokból vagy fémből készítik. A kokillákat a fém közvetlen hatásától az ún. kokillamázsal óvják meg, amely grafitos lé, vízüveg vagy egyéb hőszigetelő és tűzálló anyag.

A kokillaöntés előnyei:

- méretpontos öntvény
- jobb szilárdsági tulajdonság
- sima felület, kevesebb megmunkálás szükséges
- gyors, termelékeny eljárás.

A kokillaöntés hátrányai:

- a kokilla előállítása drága, csak sorozatgyártásnál gazdaságos
- a fém gyorsabban hűl le, mint a homokformában s ez vasöntvényeknél kérgesedést okozhat, amely gátolja a megmunkálást.

2.2.6.2 Olvasztás: Az öntésre kerülő fém vagy fémötvözet folyékonyra tétele

Az öntődékben leggyakrabban használatos *olvasztókemencék*: a kupolókemence, az ívkemence és az indukciós kemence.

Az olvasztás betétanyagai:

- fémes anyagok (nyersvas, öntvénytöredék, acélhulladék)
- salakképzők (mészkő, folypát, dolomit)
- ötvöző-, dezoxidáló-, és módosító anyagok

Az olvasztó berendezésekben a beolvadáson kívül különböző metallurgiai folyamatok is lejátszódnak.

2.2.6.3 Öntés

A folyékony fém eljuttatása a forma üregeibe. Az öntési mód befolyásolja az öntvény minőségét, az öntésre visszavezethető selejt gyakran az összes selejt 50 %-át is kiteheti.

Az öntéssel szembeni legfontosabb követelmények:

- az előírt összetételű folyékony fém megfelelő időben, kellő hőmérséklettel és a szükséges mennyiségben rendelkezésre álljon,
- az öntési sebesség a formatöltéssel összhangban legyen.

Öntési módok:

- Gravitációs öntés, amely történhet felülről (zuhanó öntés), alulról (dagadó öntés) és oldalról.
- Nyomásos öntés, amelyet döntő többségben kokillaöntésnél alkalmaznak.

2.2.6.4 Öntvénytisztítás, javítás lépései:

1. Az *ürítés*, amely történhet kézi és pneumatikus szerszámokkal, vibrátorokkal, rázórácsokkal, ürítőkeretekkel.
2. A *magkiverés*, amely szintén kézi- és pneumatikus szerszámokkal, vibrátorokkal, rázórácsokkal, ürítőkeretekkel történhet.
3. A *felület tisztítása* történhet kézi- és pneumatikus szerszámmal, vagy dobokban, szemcseszóró és vizes berendezésekben.
4. A *beömlő módszer és a tápfejek eltávolítása* kalapáccsal, pneumatikus vágóval, fűrészeléssel, lángvágással, sajtolással, illetve forgácsolással végezhető.
5. A *sorják, dudorok eltávolítása* kézi és pneumatikus vágóval vagy sajtolással történik.
6. A *köszörülés* kézi, állványos vagy lengő géppel valósítható meg.

2.2.6.5 Öntvények hőkezelése

A hőkezelés célja az öntvény tulajdonságainak javítása. Az alkalmazott leggyakoribb hőkezelési eljárások:

- feszültségcsökkentő izzítás
- lágyítás
- normalizálás
- nemesítés
- vegyi hőkezelés.

2.2.6.6 Az öntvénygyártás környezeti hatásai

Az öntödék levegőszennyezése a kemencék füstgázaiból, az öntés, homokforgalom, öntvénytisztítás és (különösen a szerves kötőanyagokat felhasználó) formázás és magkészítés során képződő gázból és porból származik.

Az olvasztókemencék közül a legnagyobb mértékben a kupólókemencék szennyezik a levegőt. Különösen nagy a poremissziója, 6-10 kg por/t vas, illetve acél. Az

ívkemence porkibocsátása ennél jóval kevesebb, 5-8 kg/t, míg legkevésbé szennyező az indukciós kemence 0,17-0,58 kg/t kibocsátással.

A kupolókemence gázkibocsátása a kokszt-felhasználástól és az égés hatásfokától függő mértékben CO-t, CO₂-t, N₂-t tartalmaz, kisebb mennyiségben SO₂-t és H₂S-t. Ívkemencéknél a betét olaj-, festék-, és zsírtartalma gyorsan kiég, és néhány percen át sűrű füstöt képez. Olvasztáskor, csapoláskor finom fémes füst keletkezik. Az indukciós kemence kibocsátását is a betét összetétele határozza meg.

A homokforgalom során a porszennyezés az összhomok mennyiségének 1,5 %-át is kiteheti. A műgyantás formázáskor, különösen öntéskor káros és kellemetlen szagú gázok keletkeznek, amelyek fenolt, formaldehidet tartalmaznak. Öntéskor por és fémtartalmú gőzök, míg öntvénytisztításkor főként por keletkezik.

Zaj- és rezgésemisszió

A legnagyobb mértékű zajkibocsátás az öntvénytisztításkor, illetve a rázóformázógépek működésekor észlelhető. A zajcsökkentés lehetőségei:

- egyéni hallásvédő eszközök (zajvédő fültok, hallásvédő füldugó, hallásvédő vatta)
- megfelelő akusztikai tér kialakítása
- burkolatok, gumiágyazat.

Vibrációs ártalom főként a pneumatikus szerszámmal dolgozókat éri, amely rugalmas védőkesztyűk használatával, a szerszámok megfelelő karbantartásával csökkenthető.

Az öntvénygyártás folyamatának szemléltetésére a vasöntvénygyártás jellemző folyamatvázlatát /15. ábra / és egy 100 t vasöntvényre vonatkozó anyagforgalmi diagramot /16. ábra / mutatunk be.

15. ábra: Vasöntvénygyártást jellemző folyamatvázlat [8]

16. ábra: Vasöntöde 100 t öntvényre vonatkoztatott teljes anyagforgalma [8]

2.2.7 Képlékeny alakítás

A *képlékenység* az anyagnak az a tulajdonsága, hogy erő hatására törés nélkül alakítható, és az alakváltozás az erőhatás megszűnte után túlnyomórészt megmarad. A képlékeny alakítás végezhető hidegen és melegen.

A képlékeny alakítási eljárások csoportosítása:

1. Kovácsolás és sajtolás
2. Hengerlés
3. Csőgyártás
4. Húzó alakítás

E technológiák – noha a kohászati végtermékgyártás folyamatai – sokkal kisebb mértékű anyag és energiaátalakítással, illetve emisszióval járnak mint a korábban ismertetett (kifejezetten kémiai) technológiák.

Ezért itt csupán a környezetre gyakorolt hatásokat mutatjuk be röviden.

A képlékeny alakítást végző üzemek a legzajosabb üzemek közé tartoznak. Egy kovácsüzem átlagos zajszintje 80-100 dB, egy blokk soré 83-91 dB, a szélesszalag meleghengersoré 95-100 dB, a porilhengersoré 83-102 dB, a szélesszalag hideghengerson 77-88 dB mérhető.

A nagy zajterhelés károsíthatja a dolgozók hallószerveit, valamint káros hatással lehet a gyártás minőségére és növelheti a balesetek számát. Ezért az előírások szerint a dolgozókat érő egyenértékű A-hangnyomásszint sehol nem haladhatja meg a 85 dB-t, és a legnagyobb A-hangnyomásszintnek is 125 dB alatt kell maradnia.

A munkahelyi zaj ellenőrzése a közegészségügyi hatóság feladata. A képlékeny alakító üzemekben mindenképp megfelelő zajcsökkentésről kell gondoskodni. Ennek gyakorlati megoldásai a következők lehetnek:

- a) technológiai megoldások: technológiai paraméterek megváltoztatása, illetve kevésbé zajos technológiák alkalmazása

- b) gépburkolás, hanggátások kialakítása, megfelelő teremakusztika
- c) zajszigetelt fülkék létesítése a kezelő-személyzet számára
- d) egyéni védőeszközök használata.

A képlékenyalakító üzemekben keletkezett szennyvíz egy része a különféle kemencék hűtésére használt, általános csak hővel szennyezett hűtővíz.

A *hengerművek szennyvizei* a hengerek és csapágyak hűtésekor keletkező, nagy mennyiségű, revét, port és kenőanyagokat tartalmazó szennyvizek. A keletkező szennyvizek mennyiségét az alkalmazott technológia határozza meg.

A szennyvízben lévő revét ülepítéssel távolítják el. A gépi kotrókkal és szállítószalagokkal kiemelt revét a kohókba szállítják. A vizet homokszűrőkön vezetik keresztül és visszaforgatják. Az olaj- és zsírszennyeződések vagy külön olaj- és zsírfogókban, vagy az ülepítőmedencékben távolítják el. Az emulzióban lévő szennyeződések megbontására Al-szulfátot, illetve Fe-szulfátot adagolnak a szennyvízhez.

A *fémipari félkész gyártmányok* felülete revével, oxidokkal, olajjal, zsírral szennyezett, ezért további feldolgozásuk előtt azokat tisztítani kell.

A tisztítás történhet:

- a) fizikai úton:

Ekkor homokkal, söréttel, nagynyomású vízzel, lánggal vagy koptatással tisztítanak. A vízzel történő tisztítás szennyvizének minősége hasonló a hengerműi szennyvízhez, tisztítása is hasonlóképpen történik. (A többi eljárás za-, illetve légszennyező hatású.)

- b) kémiai úton, pácolással

A pácolásra legtöbbször 10-20 %-os kénsavat használnak, 60-80 °C-on. (Ritkábban HCl-t vagy HNO₃-at vagy ezek keverékét.)

A pác savtartalma folyamatosan csökken, miközben a $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ formában jelenlévő vas-só mennyisége nő. A savtartalmat utántöltéssel növelik, de 500-600 g/l sótartalom felett a páclé tovább már nem használható, tisztítani kell. Ha a szennyvizet befogadóba akarják engedni, a tisztítás mésztejjel történő semlegítésből és ülepítésből áll.

A korszerű, újrahasznosító technológiákban viszont egyaránt cél a páclé visszaforgatása és a keletkezett Fe-szulfát kinyerése.

Ennek érdekében a kimerült páclevet egy gyűjtőtartályba vezetik, és szakaszosan adagolják a kristályosítóba. A kristályosítóba vízszegény, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ -t adagolnak, amely elvonja a vizet a híg pácléből, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ -vá alakul és kikristályosodik.

A kristályosodást hűtéssel segítik elő. A hűtővíz a rendszerben a friss víz szerepét tölti be.

A kristályokat centrifugálással választják szét a betöményedett kénsavtól.

A kénsavat visszavezetik a pácléhez. A keletkezett kristályos Fe-szulfát egy részét értékesítik, a másik részét kiszáritják és visszavezetik a kristályosítóba.

2.3 Gépipari technológiák

A *gépipar* gépeket, szerszámokat gyártó iparág. Feladata meghatározott geometriájú tárgyak, eszközök, gépek, berendezések létrehozása, gyártása a lehető leggazdaságosabb technológiával.

Szélesebb értelemben a gépipari technológiák körébe sorolható az *öntés*, *képlékeny alakítás*, és a *hőkezelés* is, szűkebb értelemben gépipari technológia alatt az anyagszétválasztási (forgácsolás, vágás), anyagegyesítési (ragasztás, forrasztás, hegesztés) és kikészítési technológiákat (bevonatok készítése, galvanizálás) értjük.

Tekintettel arra, hogy e tárgykörben az utóbbiak járnak számottevő környezeti hatással, itt csupán ezekre mutatunk be egy-egy példát.

A fémbevonatok készítésének lényege, hogy a fém felületét ellenálló, az alapfémnél nemesebb fémmel vonják be. A bevonat készítésének célja leggyakrabban a *korrozóvédelem*, de alkalmazzák a felület mechanikai tulajdonságainak (keménység,

kopásállóság, stb.) javítására, díszítési célokra (pl. tükrösítés), elektromos tulajdonságainak javítására (pl. vezetőképesség) is.

A fémek felületét a bevonás előtt elő kell készíteni. Az előkészítési művelet lehet mechanikai tisztítás, zsírtalanítás, oxidmentesítés és felületsimítás.

2.3.1 A felületek előkészítése

Mechanikai előkészítés: célja a felület érdességének csökkentése.

A mechanikai előkészítés módjai:

Korongos és szalagcsiszolás, fényezés: csiszolószemcsékkel, illetve kefékkel végzik a tisztítást.

Forgódobos eljárás: a dobba helyezik a tisztítandó munkadarabot és a csiszoló töltetet, s a forgás hatására sorjázás, revétlenítés, koptatás, csiszolás és fényesítés következhet be.

Vibrációs eljárás: a megmunkálandó alkatrészt a csiszolóanyaggal együtt harmonikusan gerjesztett rezgésnek vetik alá.

Szemcseszórás: valamilyen fémszemcsét nagy energiával ütköztetnek a megmunkálandó felülethez.

Sűrített levegős berendezések: a szemcsét sűrített levegővel röpitik, a kisméretű részeket ciklonban leválasztják, s a tisztított szemcséket visszavezetik a nyomás alatt lévő légtartályba.

Zsírtalanítás: célja a munkadarab felületének megtisztítása a zsíroktól, olajoktól.

A zsírtalanítás módjai:

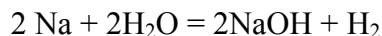
Oldószeres zsírtalanítás: szerves oldószerben (triklóretilén vagy perklóretilén), folyadék vagy gőzfázisban oldják le a munkadarabról a növényi, állati vagy ásványi eredetű zsírokat, olajokat, gyantákat.

Zsirtalanítás lúgos oldatokban: az oldás NaOH vagy Na₂CO₃ oldattal történik, amelybe emulgeálószeret, és felületaktív anyagokat adagoltak. Emulgeáló anyagként szilikátokat és foszfátokat, felületaktív anyagként pl. zsíralkohol-szulfonátot használnak.

Zsirtalanítás emulziókkal: alifás, cikloalifás vagy klórozott szénhidrogéneket, emulgeátorokat (pl. zsíralkoholok), és korrózióvédő anyagokat (pl. orto- és polifoszfátok) tartalmazó oldattal történik a leoldás.

Ultrahangos zsirtalanítás: a rezgőfej belemerül a lúgos vagy szerves oldószert tartalmazó oldatba, elősegíti a nedvesedést, és mechanikai (ütő) hatása is van a felületi szennyeződésekre.

Elektrokémiai zsirtalanítás: lúgos elektrolitban a tisztítandó tárgyat általában katódként kapcsolják. A katódon kiváló fém Na azonnal reagál a vízzel:



A keletkező NaOH zsíroldó hatása igen erős, de a keletkező hidrogén növeli az acélok ridegségét. A zsirtalanító hatást melegítéssel növelni lehet (70-80 °C).

Az anódon a hidroxil-ionokból oxigén fejlődik:



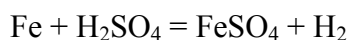
Kémiai és elektrokémiai oxidmentesítés

Oxidmentesítés kémiai módszerekkel

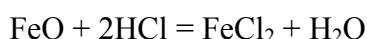
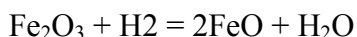
Vasfémek pácolása

A vasfémek pácolásakor az oxidok valamilyen savban feloldódnak, oldható sókká alakulnak.

A pácolás során a Fe-oxidokból szulfátok, kloridok, foszfátok, fluoridok keletkeznek. Az oxidok oldódása mellett a fém vas is oldatba megy, pl.:



A keletkező hidrogén nyomása elősegíti a reveréteg leválását a felületről, valamint redukálja a Fe_2O_3 -at a könnyebben oldódó FeO-vá:



A keletkező hidrogén tehát előnyösen befolyásolaj az oxidréteg eltávolítását, keletkezését mégis gátolni kell, mert a fémbe diffundálva a vasat rideggé, törékennyé teszi (páccidegség).

A fémvas oldódását gátló, de az oxidok oldódását nem zavaró adalékanyagokat *inhibitoroknak* nevezzük. Inhibitoroként nagymolekulájú szerves vegyületeket, leggyakrabban hexametilén-tetramint adagolnak, de használatos a zselatin, melasz, antracén, stb. is.

Réz és rézötvözetek pácolása

A réz és rézötvözetek felületén jelenlévő oxidokat, szulfidokat és karbonátokat az ún. sárgító fürdőkkel távolítják el. A sárgító fürdők pH-ja erősen savas.

Fő komponensük a HNO_3 , emellett sósavat, kénsavat, NaCl -t, stb. tartalmaznak. A pácolást 20-35 °C között végzik, a kezelési idő rövid, 5-10 s.

Cink és cinkötvözetek pácolása

A cink ásványi savakban könnyen oldódik. A pácolást kénsav-salétromsav keverékében végzik. A fürdőbe csak száraz felületű tárgyakat szabad bemártani, és 1-3 s bemeztetés után folyó vízben azonnal öblíteni kell.

Alumínium és ötvözeinek pácolása

Az alumíniumot és ötvözeit leggyakrabban 5-10 %-os NaOH-ban pácolják, 40-70 °C-on. Pácoláskor a fém Al is oldódik, hidrogénfejlődés közben.

Oxidmentesítés szilárd savakkal

Egyes szilárd savak oldják a fémoxidokat, s nem fejlesztenek korrodeáló hatású gázokat. Magas árak miatt azonban csak vékony oxidrétegek eltávolítására alkalmazhatók. Pl. bórkősav, citromsav, glukonsav, amido-szulfosav.

Pácolás gázokkal

A pácológáz összetétele pl. HCl (20 %), CO₂ (10 %), N₂ (70 %). A pácolás hőmérséklete 500-800 °C, a pácolási idő 1-5 min. A gázos pácolás előnye, hogy a magas hőmérsékleten a zsírtalanítás is végbemegy, nem jön létre pácridegség, és bonyolult alkatrészekhez is használható.

Termikus eljárás

A termikus revétlenítés során az acetilén-oxigén szúrólángtól felhevülő oxidréteg a hőtágulás, illetve a fellépő feszültségek következtében lepattogzik a fém felületéről. Az eljárás előnye, hogy más, éghető szennyeződés is (zsír, olaj, lakk) eltávolítható a felületről. A gyors, nagyfokú hevülés miatt csak nagy tömegű, vastag acéltestekhez alkalmazható.

Hidrodinamikus eljárás

A revétlenítést nagy nyomású vízszugárral végzik. A vízszugár kinetikus energiája széttördeli a reverteget és lesodorja a felületről. A hengerművekből kikerülő meleg acél oxidrétegének eltávolítására használják.

Felületsimítás és fényezés

A kémiai és elektrokémiai eljárások alapja az, hogy a fémfelület kiemelkedő részei gyorsabban oldódnak, a mélyedések pedig védve vannak. A kémiai eljárások során megfelelő sav-, illetve lúgkeverékkel végzik az oldást, az elektrokémiai eljárásoknál elektrolízissel.

2.3.2 A fémbevonatok készítésének technológiái

- Termikus eljárások
- Kémiai eljárások
- Elektrokémiai eljárások

Termikus eljárások

A termikus eljárások során a fémek bevonását hőenergia segítségével végzik. A termikus eljárások három csoportba oszthatók:

- termodiffúziós eljárások
- termomechanikai eljárások
- vákuumtechnikai fémbevonás

Termodiffúziós eljárások

A termodiffúziós eljárások során az alapfém és a bevonófém között kohéziós kapcsolat alakul ki, köztük éles határfelület helyett fokozatos átmenet van, kialakul egy diffúziós fémréteg.

A fémbevonás előtt a bevonandó felületeket meg kell tisztítani az oxidrétegtől. A legelterjedtebb módszer a homoksugárfúvással történő tisztítás. Ritkábban pácolást is alkalmaznak, amelyet 10-20 %-os kénsavban, 50-80 °C-on , vagy 5-10 %-os sósavban szobahőmérsékleten végeznek.

A vékony olajfilm leég a felületről, de a vastagabb zsíros, olajos szennyeződések előzőleg el kell távolítani.

Fémbevonás szilárd közegben, fémporba ágyazással

Zsírtalanított és oxidmentes alkatrészt a bevonó fém porával magas – de mindkét fém olvadáspontjánál alacsonyabb – hőmérsékletre hevítik és oxigén kizárásával érintkeztetik a két fém.

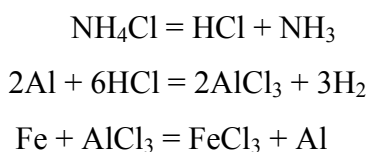
A *horganyzást* kis- és közepes méretű vastömegcikkék (kötőelemek, fogantyúk) korrózióállóvá tételére alkalmazzák. Az előkezelt vastárgyakat acéltartályokban vagy forgatható acéldobokban cinkporba ágyazzák, és légmentes lezárás után 370-380 °C-os 1-5 óráig hőntartják, majd levegőn, lassan lehűtik. A cinkporhoz 30-75 % meddőanyagot (kvarchomokot, grafitot vagy mészkövet) kevernek, hogy a por ne süljön össze, 1 % HCl hozzáadására a keletkező cinkklorid katalitikusan gyorsítja a folyamatot. A porkeverék többször felhasználható, újabb cinkpor hozzáadása, ill. 1 %-os sósavas kezelés után.

Az *aluminozást* a hőállóság és a füstgázokkal szembeni ellenállóképesség növelése érdekében végzik.

A diffúziós bevitelre két eljárás ismeretes: a kalorizálás és az alitálás.

A kalorizáló eljárás során a vastárgyakat Al-por, ammóniumklorid és kaolin keverékébe légmentesen beágyazzák, 810-830 °C-ra felhevítik és 4-5 órán keresztül hőntartják.

Az NH₄Cl gyorsítja az Al diffúzióját a következő reakciósornak megfelelően:



Alitáláskor Al-por helyett 50%-os ferro-aluminiumötvözetet alkalmaznak. A megolvadáshoz szükséges hőmérséklet 1000-1200 °C, a hőntartás ideje rövidebb.

A *szilíciumozás* technológiája az alitáláshoz hasonló, de ferroszilíciummal végzik. Saválló vegyipari berendezések előállításakor alkalmazzák.

A *krómozáshoz* ferrokrómot használnak, célja a kopásállóság, felületi keménység, korrózió- és hőállóság növelése.

Fémbevonás fémolvadékba mártással (tűzi-mártó eljárások)

A tűzi-mártó eljárások lényege, hogy a megfelelően előkészített fémet a bevonófém olvadékába mártják, majd lehűtik. A kezelés után a felületen szabályozható vastagságú diffúziós fémréteg alakul ki. A *tűzi horganyzás* megvalósítható nedves és száraz eljárással.

A nedves eljárás / 17. ábra / esetén alkalmazott folyosító sóolvadék ($\text{NH}_4\text{Cl} + \text{ZnCl}_2$ 1:2 arányú sóolvadéka) szerepe, hogy a vas felületéről a szennyeződésekeltávolítsa, a megtapadt vizet felszívja és a darabot előmelegítse. A sóolvadék a 450 °C-os Zn-olvadék tetején úszik. A sóolvadékból termikus disszociáció során HCl és NH_3 keletkezik. A HCl tisztítja a vas felületét, az amónia pedig habosítja a sóolvadékot.

A száraz eljárás során a bevonandó tárgyat először $\text{NH}_4\text{Cl} + \text{ZnCl}_2$ 60-80 °C-os tömény, vizes oldatába merítik, majd öblítés nélkül megszáritják. A megszáradt sóréteg a fémolvadékba történő bemelegítéskor fejti ki tisztító hatását.

17. ábra: Nedves tűzi horganyzás [1]

(1 – zsírtalanítás, 2 – öblítés, 3 – pácolás, 4 – öblítés, 5 – aktiválás,
6 – fémolvadék-tartály, 7 – tisztítószer-réteg, 8 – öblítés)

A *tűzi-mártó ónozás* során a darabos tárgyakat öntöttvas vagy acél kádban, a huzalokat, szalagokat áthúzó-berendezésben vonják be ónnal. Az ónozás mártóberendezése általános egy kettős kád, amelynek az egyik részében sóolvadék, a

másikban pálmaolaj tölt be felületvédelmi szerepet. Az ónolvadék hőmérséklete a kád bevezető oldalán 300-340 °C, a kivezető oldalon 240 °C alatt van. Élelmiszeripari gyártmányok esetében (pl. konzervdobozok) nagy tisztaságú ónt használnak, egyéb célokra az olvadék összetétele: 70 % Sn, 23,5 % Pb, 5,5 % Zn. A korrózióállóság növelésére max. 10 % Cd-t, a fényes felület elérése érdekében rezet vagy ezüstöt adagolnak a fürdőbe. Ónbevonat készíthető 0,2 % C-tartalmú acéltárgyakon, öntöttvason, rézen, bronzon, stb. is.

Galvanizálás

A galvanizálás során *külső áramforrás* segítségével a fém sókat tartalmazó vizes oldatokból egyenáramú elektrokémiai redukcióval választanak le fémbevonatokat a katódon.

Az elektrolit összetétele:

- A fém só a leválasztandó fémeket tartalmazza ionos vagy komplex formában. Koncentrációjuk 0,1-5 mól/l. Ionos formájúak pl. a NiSO_4 , CuSO_4 , ZnSO_4 , SnSO_4 , stb. Komplexek: cianidok, szulfidok, pirofoszfátok, tioszulfátok, komplex szerves vegyületek, stb.,
- A vezetősók feladata, hogy növeljék az oldat vezetőképességét. Nagy ionmozgékonyosságú, jól disszociáló vegyületeket adagolnak ebből a célból az elektrolithoz. A H^+ és OH^- ionok nagy mozgékonyasága miatt ide sorolják a savakat és lúgokat is. Az alkalmazott sók: NH_4Cl , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$, stb.
- A pufferek a fürdő pH-értékének beállításával befolyásolják a bevonat minőségét. A pH-beállítók savak, lúgok, foszfátok, citrátok, borátok, stb.
- A komplexbépszók biztosítják a komplex fémionok kémiai stabilitását és koncentrációjának állandóságát. Leggyakrabban alkalmazott vegyületek: alkálifém-cianidok, -rodanidok, -pirofoszfátok, borkősav, citromsav, oxálsav, stb.
- Az adalékanyagok feladata a fémbevonat tulajdonságainak módosítása. Az adalékanyag lehet *fényesítő adalék* és *felületaktív anyag*. A fényesítő adalék a fémbevonatba beépülve finomítja a kristályszerkezetet. Fajtái:
 - szervetlen adalék, pl. SdSO_4 vagy kolloidális Al-hidroxid
 - szerves adalék, pl. zselatin, enyv, keményítő, stb.

A felületaktív anyagok csökkentik az elektrolit felületi feszültségét, nedvesítik az elektródokat, elősegítik a katódon fejlődő hidrogén eltávozását, ezáltal a bevonat kevésbé lesz pórusos.

A galvanizálás technológiai jellemzői:

- A hőmérséklet alapvetően befolyásolja az elektrolízis lefolyást (ionok diffúziós sebessége, elektródpolarizáció, stb.), ezért a technológia előírt hőmérsékletét pontosan be kell állítani. Energiatakarékossági szempontból a szobahőmérsékleten végzett galvanizálás a legkedvezőbb, de nagy teljesítményű eljárásoknál a melegítés elkerülhetetlen.
- A feszültségnek a fém leválási, és az elektrolit bontási feszültsége felett kell lennie. Kisebb feszültség esetén a fém kiválási sebessége nem megfelelő, nagyobb cellafeszültség esetén megnő a hidrogén-fejlődés, amely rontja a bevonat minőségét.
- Kis áramsűrűség esetén a fémbevonat tömör, finomszemcsés, azonban a fémleválás sebessége kicsi. A nagy teljesítményű, tömény komplex sófürdőkben keverés és melegítés esetén nagyobb áramsűrűség engedhető meg a bevonat minőségének romlása nélkül.
- Az egyenáram szaggatása vagy lüktetése kedvező hatású a bevonófém szemcseszerkezetének finomságára, felületi simaságára, fényességére. Kedvezőtlen hatása a réteges leválásra való hajlam növekedése. Az áram szaggatásához hasonló hatású a pólusváltás.
- A fürdőoldal keverés célja a fürdő hőmérsékletének és koncentrációjának egyenletessé tétele. Ez előfeltétele az előírt áramjellemzők állandó értéken tartásának. A keverés megvalósítható keverővel, levegőátbuborékolatással, folyadékszivattyúval vagy katódmozgatással. Az optimális folyadékáramlási sebesség 3 m/min.

A keverés hátrányos hatása, hogy az iszap is felkeveredik, és a szennyeződések a fémrel együtt leválnak a katódon, s elősegítik a hidrogén leválását is. Ennek elkerülése érdekében a kevert fürdőket rendszeresen szűrni kell.

Alkalmazott galvanizáló eljárások:

- *A szulfátos eljárás:* az alapsó a CuSO_4 , fényesítőanyagként leggyakrabban tiokarbamidokat használnak, amelyeknek puffer-hatása is van. A fürdőt olajmentesen préslevegővel keverik. Aktív szénnel folyamatosan eltávolítják a lebegő szennyeződések.
- *A nikkelbevonat készítmény* a korrózióállóság növelésére és díszítési célokra alkalmazzák. Az alapfém vas, cink vagy réz.

2.3.3 A fémes bevonatok készítésének környezeti hatásai

A mechanikai csiszoló- és fényező üzemekben nagy mennyiségű por keletkezik. A korongos csiszolás és fényezés során a csiszoló- és fényezőanyagok, a lekoptatott fémrészecskék és a csiszoló- és fényezőkorongokból származó textilhulladékok szennyezik a levegőt. A csiszolóanyagok SiO_2 , vagy Al_2O_3 alapúak. Az SiO_2 szilikózist, az Al_2O_3 alumínózist okoz. Különösen veszélyesek a kis méretű, 5 μm alatti szemcsék. A porképződés csökkenthető, ha a SiO_2 tartalmú csiszolóanyagot zsírral vagy olajjal kötött massa formájában alkalmazzák. A száraz eljárásokkal szemben előnyben kell részesíteni a nedves eljárásokat. Amennyiben ez nem lehetséges porelszívásról kell gondoskodni. Az elszívott levegőt száraz vagy nedves ciklonban tisztítják.

Az oldószeres zsírtalanítás során alkalmazott triklóretilén és perklóretilén nem gyúlékony, de gőzeik lánggal hevítve CO_2 -re és HCl -re bomlanak, oxigén kizárásával pedig (pl. védőgáz hegesztés) mérgező foszgén keletkezik. A triklóretilén hő és ultraibolya fény hatására is bomlik. A finom eloszlású Al katalizálja a bomlási folyamatot, amely robbanásig fokozódhat. A bomlás ellen stabilizáló anyagokkal (aminok, terpének, fenolok) lehet védekezni.

Az oldószer gőzei az emberi szervezetre narkotikus hatással vannak, izgatják a szem- és ornyálkahártyát, fejfájást, nagyobb mennyiségben émelygést és kábultságot okoznak. Akut mérgezéseknél szívritmuszavar és légzésbénulás lép fel.

Állatkísérletekben bebizonyították rákkeltő hatását. Erős zsírtalanító képessége következtében a bőrre izgató hatása van.

A *fémszóró üzemekben* a keletkező por, gáz és gőz eltávolítására szellőzőberendezéseket kell építeni. Az elszívott levegőt ciklonban vagy elektrosztatikus porleválasztóban tisztítják. Az elszívott levegőt megfelelő mennyiségű és hőmérsékletű tiszta levegővel pótolni kell.

A *tűzi-mártó horganyzás* technológiai folyamatában a lúggal zsírtalanított munkadarabot sósavval maratják. A keletkező HCl-gőzöket elszívóernyők segítségével távolítják el, és mosóberendezésben ártalmatlanítják. A 460 °C-os horganyzófürdőből távozó gáz NH₄Cl-t, ZnCl₂-t, HCl-t és NH₃-t tartalmaz.

A 300 °C-ra lehűlt gázban az amónia és a sósav NH₄Cl-dá alakul, és ködöt képez. A gázban ZnO és Zn-gőz is található. A horganyzókad felületéről peremelszívással távolítják el a gázokat, és mosótornyokban tisztítják.

A *kémiai és galvánüzemekben* a kádak helyi légelszívása technológiai követelmény.

2.4 Szilikátipari technológiák

A nemesfém szervesetlen anyagok túlnyomó többsége a szilikát rendszerekbe tartozik. A szilikátipari technológiák közé soroljuk a durvakerámiák (építőipari falazó- és tetőfedő anyagok, tűzálló anyagok), a finomkerámiák (díszítő-burkoló anyagok, porcelán) gyártástechnológiáit, az üveg- és cementgyártást.

A szilikátipari technológiák jelentős anyag- és energiaátalakítást valósítanak meg, komoly környezetterheléssel járnak, de egyben lehetőséget adnak (hordoznak) a melléktermékek (fűrészpor, építésipari bontott anyagok) és hulladékok (selejt, elhasználódott anyagok, üveg) anyagában történő újrahasznosítására.

Itt néhány példát ismertetünk röviden.

2.4.1 Épületkerámiák

Az épületkerámiák között egyik legismertebb termék a téglá és a cserép.

A téglá- és cserépipariban legfontosabb és leggyakrabban alkalmazott alapanyagok az agyagásványok. Ezek 950-1050 °C-on szívesre égő, finom szerkezetű, üledékes kőzetek. Összetételükben savanyú és bázikus, vulkáni és magmás szilikátkőzetekből, kémiai málás, hidrotermális átalakulás és mechanikai aprózódás útján, továbbá az ülepedés során keletkező, részben biológiai eredetű ásványok találhatók.

A téglá- és cserépanyagokat oxidos összetételük mellett ásványi és szemcse összetételükkel szokták jellemezni. Ezek határozzák meg a gyártástechnológia során létrejövő fizikai és kémiai tulajdonságokat.

A téglá- és cserépanyagok ásványi összetétele az agyagásványok, a kvarc, a földpát és a közettörmelékek mellett számottevő mértékben tartalmaz még alumínium- és vasoxid hidrátokat. Ezeknek aránya meghatározza az égetési atmoszféra hatására uralkodó váló, jellemző szint is. Természetesen a technológiai feldolgozás szempontjából az esztétikai jelentőségű szín elhanyagolhatóbb szerepet játszik, mint az ásványi összetétel, a diszperzitás és a képlékenység.

A kis, illetve nagyméretű, tömör téglaidomok 30 %-ot meg nem haladó, illetve 60 %-nál több, 10-nél kisebb ásványi alkotót tartalmazó, nagy képlékenységgű agyagásványokból készülhetnek. a 20-200 nagyságú részecskék is pontosan meghatározott arányban kell, hogy előforduljanak.

A mésszegény, nagy képlékenységgű anyagok, tömör, üreges, vékony bordázatú vázkerámiai építőelemek, tetőcserepek, homlokzati burkolólapok, homlokzati díszítőelemek, stb. alapanyagaiként alkalmazhatók. Nagy száradási és égetési zsugorodásuk, valamint érzékenységgük miatt soványító adalékokkal készülnek.

A montmorillonit alapú anyagok felhasználásánál indokolt soványító adalékanyagok meghatározott összetételű és arányú hozzáadása. Ilyen esetben az agyagarány legfeljebb 20-30 % lehet.

A nagy képlékenységgű, vagy képlékeny márgás anyagok burkolóelemek kivételével az összes építőkerámiai gyártmányok előállításához alkalmazhatók.

Viszonylag kis száradási és égetési zsugorodásuk, továbbá érzékenységük miatt a legmegfelelőbb építőkerámiai nyersanyagoknak tekinthetők.

A durvakerámiagyártás technológiai folyamata

A hazai agyagtelepüléseink, többnyire eltérő ásványi összetételű előfordulások. Emiatt a jövesztés során, vagy után homogenizáló művelet közbeiktatása válik szükségessé. A megfelelő arányok szerinti keverés azonban megtörténhet az előkészítés fázisában is.

A genetikai feltételek által meghatározott közetszerkezeteknek megfelelően a jövesztés történhet merítéklétrás, vagy helyhez nem kötött mozgó felsővázak kanalas kotróval. A robbantással lazított palás agyagréteg jövesztése az előbbivel, illetve hernyótalpas ásógéppel végezhető. A tolólemezes fejtőgépek csak a nem kötött anyagok kiemelésénél jöhetnek számításba.

A jövesztett és elsődlegesen homogenizált nyersanyag szállítása önrakodó dömperre, köteles kotróládákkal, szképerekkel vagy szállítószalagon, illetve kötélpályán történhet. Gazdaságossági számítások alapján bizonyított, hogy a szállítószalag 100 méteren belül a billenőcsillós szállítóval, 200 méteren belül pedig a billenő szállítóteres teherjárművekkel versenyképes. Az időjárás kedvezőtlen hatásainak korlátozása céljából az üzem belső területén 6-8 hetes nyersanyagkészlet létrehozása célszerű.

A korszerű nyersanyagelőkészítés az előállítandó gyártmánytól függően eltérő módszerekkel történhet. Célja azonban minden esetben ugyanaz: homogén ásványi összetételű és diszperzitású keverék előállítása. Ez nemcsak a szerkezet összetettségét, hanem a ki nem vonható zárványok finom eloszlását is biztosítja.

A nem agyagalapú fémek és egyéb makrozárványok kivonása kiválasztó, vagy perforált hengerű tisztító, esetleg szűrő-keverő gépen történhet. Ehhez a művelethez célszerű közbeiktatni egy megfelelő szerkezetű elektromágnes is, amely a jövesztés és előkészítés során a keverékbe kerülő fémek eltávolítását biztosítja.

A meghatározott arányban összemért alkotók őrlése görgőjáraton, majd ezt követően finom hengerműben történik.

Az építészeti kerámiák legcélravezetőbb technológiai folyamata a tökéletes feltáródást biztosító nedves őrlés lenne. A nyers iszapból történő folyamatos vízkivonás bonyolultabb és költségesebb, mint a 20 % bányanedvességre alapuló képlékeny eljárás.

A görgőjárat és a finom hengermű révén előkészített bányanedves anyagokhoz adagolt soványítók (szén, pernye, égetési selejt, stb.) homogén nedvesítése, illetve átnedvesítése a görgőjáratokhoz kapcsolt pihentető keverőkben fejeződik be. Ennek elmaradása, vagy tökéletlen kivitelezése esetén az agyagszemcsék is soványító módjára viselkednek, ami a száradás és égetés során a szövetszerkezetet átszövő repedés hálózatban a szemcsék egymástól való elkülönülésében nyilvánul meg, azaz a készgyártmány mechanikai tulajdonságainak károsodását eredményezi.

Az utóbbiakban említett veszély nagy valószínűséggel kiküszöbölhető, ha a homogenizáló keverő után az elegy úgynevezett pihentető tornyokba jut.

A szabad agyagtárolókkal egybeépített automatikus ürítésű pihentető tornyok kettős célt szolgálnak, mivel az üzemi készlet biztosítása mellett a jó feltáródást is biztosítják. Ezen túlmenően a folyamat egyszerűbben gépesíthető, mint az úgynevezett (gyurma) massa pihentető kamrák alkalmazása, illetve feliszapolás körülményei között. Ezt az előnyt, a tökéletes feltáródást, amit az utóbbiak biztosítanak a pihentető tornyokba is meg lehet valósítani, ha meleg – (víz, gőz) – feltárás történik. Ez azzal magyarázható, hogy a víznek a hőmérséklettel csökkenő viszkozitása lehetővé teszi az ásvány kapillárisainak mélyére való hatolást, s ezzel együtt a nedves masszával egyenértékű feltáródást.

A vízzel történő, megfelelő ideig tartó kapcsolat hatására a H_2O molekulák a kapillárisokon keresztül az agyagszemcsék belsejében hatolnak és a kolloid állapotba való átmenet során bekövetkező duzzadás az ásványi részecskék fellazítását eredményezi. A felaprózódott elemi agyagásványrészecskék feltáródás során hidrátburokra tesznek szert, amelyek kontaktus felületen nedvesített üveglapnak csak párhuzamos elcsúszás révén történő elmozdíthatóságához hasonlóan, a kristálylapocskák konglonuzátumának képlékeny állapotát eredményezik.

A teljes feltáródás esetén a víz, az egyes rácssíkok közötti tereket kitöltve, az agyagelőfordulás maximális képlékenységet eredményezi. Ezt az agyag víz rendszert nevezzük tehát kerámiai masszának.

Tekintettel arra, hogy a feltáródási folyamatban a legértékesebb ásványi tulajdonság, az alakíthatóság a gépi megmunkálás tökéletességétől függ, a művelettervezés és kivitelezés döntő feladatát ez képezi.

Az agyag mechanikai megmunkálása és a melegfeltárás együttesen az előkészítés leglényegesebb fázisa. Ennek igazolására elégséges, ha megemlítjük, hogy a gőzzel feltárt agyagásványokból készült termékek 10-35 %-kal nagyobb mechanikai szilárdsággal rendelkeznek. Ide tartozik annak az előnynek a megemlítése is, hogy a gőzfeltárással készített idomok formázási energiaigénye 10-25 %-kal, száradási ideje pedig 22-30 %-kal csökken.

Sovány anyagok feldolgozásánál (a kevesebb vízigény miatt) 0,5-2 att. Túlhevített, a kövér anyagokhoz (a több vízigény miatt) pedig telített gőzt vezetünk. A feltárás történhet az adagolóknál, görgőjáratokban, teknős keverőkben, vagy bunkerekben.

A durvakerámiai idomoknak képlékeny masszából történő formázása általában légtelenítő (vákuum) kamrával ellátott csigasajtóval történik. A nagyobb idomokat 20-22 %-os, a kisebbeket 20 %-os nedvességű masszából, vágóasztal segítségével darabolják. A nedvességkülönbség az üregtérfogat függvénye.

A jobb szövetszerkezet kialakítás érdekében célszerű a legkisebb formázási nedvességet alkalmazni. Számolni kell azonban a nedvességsökkenéssel arányosan fokozódó fajlagos sajtolási nyomás növekedésével.

A formázási művelet alapvető technológiai követelménye az egyenletes keverés és nedvesítés. Ennek ellenőrzésére ma már a γ -sugárzás (30 %-os nedvesítésig), vagy a neutron abszorpció jelenségét állítják a művelet szolgálatába.

A téglák és cserép építőkerámiák formázása szalagsajtón, függőleges vagy vízszintes tengelyű, revolver présben, Keller- vagy egyéb típusú szárító rendszer működtetésével összhangban történik. Ez utóbbinak az a szerepe, hogy mindennemű fizikai behatástól megóvva, jutassa a félkésztermékeket a szárító térbe.

Az idomok szárításánál természetesen (napenergia), vagy mesterséges hőforrásokat alkalmaznak. A hagyományos méretű tömör tégláknál jó hatásfokú (de nem biztonságos) a természetes szárítás. Ezzel szemben a vázkerámiák víztelenítése már csak konvektív hőátadásra szerkesztett műszárítóknál mehet végbe.

Egy napnál rövidebb szárítási igény esetén csatorna, ennél hosszabb szárítási idő esetén azonban kamrás szárítók alkalmazása gazdaságos.

A megfelelően szárított félkésztermék nagy hőmérsékletű hőkezelése hagyományos szóró rendszerű, széntüzelésű, vagy önégető, illetve gáztüzeléssel működő alagútkemencében történik. A 950-1150°C közötti hőkezelés biztosítja azokat a feltételeket, amelyek a téglalkotók között lejátszódó szilárd fázisú reakciók számára nélkülözhetetlenek. A téglagyagok égetésénél mélyreható átalakulások mennek végbe. A hőelnyelő és hőtermelő reakciók térfogat; pórusváltozásokon mennek keresztül; szétesnek, egymással egyesülnek, új kristályok, olvadékok és oldatok képződnek. Az említett fizikai-kémiai átalakulások mértéke a kezdeti alkotók kémiai, ásványi összetételétől, szemcseméretétől és szerkezetétől, a keverék homogenitásától, a szárítás és égetés körülményeitől (időtartamától, a hőmérsékletétől, eloszlásától és az atmoszféra jellegétől) függ.

A nyers téglanya a nagyhőmérsékletű hőkezelés hatására elveszti eredeti ásványszerkezeti tulajdonságait; képlékenységet, formázhatóságát, stb. Ezek helyett új értékes termomechanikai és kémiai tulajdonságokra tesz szert. A légköri és mechanikai hatásokkal szemben ellenálló, kristályos és amorf, illetve üveges fázisokat tartalmazó cserépanyagú műkövé alakul. Az agyagalkotók között végbemenő folyamatok főleg szilárd fázisú reakciók formájában mennek végbe. Ezek közül az agyag szerkezeti tulajdonságait is meghatározó fontosabbakat említjük meg.

A durvakerámiagyártás egyik jellegzetes (általánosítható) megoldását a 18. ábrán bemutatott folyamatára szemlélteti.

18. ábra: Félzárazon sajtolt építőelemek gyártásának folyamatábrája [10]

2.4.2 Finomkerámia gyártás

A K_2O , Na_2O - Al_2O_3 - SiO_2 rendszerbe tartozó finomkerámiai anyagok a szilikátipar legősibb termékei közé tartoznak. Időszámításunk előtt 4000-7000 évvel, a kor legfejlettebb kultúrával rendelkező Mezopotámia lakói kényszerhelyzetük és kedvező földrajzi adottságaik révén alakították ki az első műveletekre tagolódó gyártási folyamatot. A Tigris és Eufrátesz gyakori áradása következtében természetes körülmények között diszpergálódott agyagos, kaolinos iszap jól alakítható masszát

biztosított a téglá, burkolólap és a kezdetleges alakú építészeti idomok előállítására. A földrajzi terület fában való szegénysége miatt, a kerámiai „félgyártmányok” kiégetésnél energiahordozóként a gazdagon növény folyómenti nádat alkalmazták. Ezúton sikerült létrehozni a kőben szegény akkád-sumer birodalom történelmi színvonalú építészeti kultúráját.

Ezt követően Egyiptom és Kína, később Görögország és Róma, majd Spanyolország és Anglia, Németalföld és valamivel később hazánk késő középkori manufaktúrája is fejlett, finomkerámiai kultúrát hozott létre.

Mezopotámiától Európáig az ember az anyagok belső szerkezetének és összetételének ismerte nélkül, kimondottan tapasztalati észlelések és empirikus ismeretek birtokában formázta az agyagot.

A három alkotóra épülő rendszerben az agyag vagy kaolin ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) a formázhatóságot és tűzállóságot (mullit-képződést) a földpát (ortoklasz $\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$, albit $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$ és az anortit $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) a folyósítást és tömörítést, azaz az üveges szerkezetet, a kvarc (SiO_2) pedig a keménységet és soványítást biztosító komponens szerepét tölti be.

Ezek egymáshoz viszonyított arányainak eltolódása egyben a készgyártmányok kémiai, termomechanikai, elektromos és egyéb fizikai tulajdonságai is meghatározzák.

A korszerű kerámiai iparban különbséget tesznek a rendkívül kemény, tömör fényes töretű porcelán, kőagyag és a speciális olvasztott kerámiai anyagok, valamint a kevésbé kemény, pórusos, félporelán, fajansz, és samottos fajansz gyártmányok között.

A porcelán rendeltetésétől függően lehet kemény vagy lágy porcelán. Az előbbihez a nagyfeszültségű szigetelők, hőálló és háztartási eszközök, az utóbbihoz a háztartási díszítő, szaniter termékek és kisfeszültségű szigetelők tartoznak.

A kőagyag gyártmányok főleg alagsóvekből, hőálló, vegyipari és építészeti burkolólapokból tevődnek össze. Ide tartoznak még a háztartási és díszítő kőagyag kerámiák.

A nagy tömörségű kerámiák csoportját az agyag nélkül előállított korunk, steatit, titanát, kordierit, stb. alapú kerámiák zárják be.

A finomkerámiák második, lazább szerkezetű pórusos anyagainak csoportjában tartoznak a háztartási és a szanitér, építészeti gyógyászati félporcelán, háztartási fajansz, majolika és burkolólap termékek, földpátos szanitér, építészeti és háztartási és dekorkerámiák, a meszes fajansz néven ismert háztartási és majolika gyártmányok és végül a nagyméretű szanitér és dekoratív célt szolgáló termékek.

A porcelángyártás technológiai lépéseit a művészi porcelángyártás-anyagforgalmát is feltüntető – törzsfájával szemléltetjük. / 19. ábra /

2.4.3 Tűzállóanyaggyártás

A tűzállóanyagok nagyhőmérsékletű tűz- és technológiai terek határolására szolgáló nagy hő-, és korrózióállóságú építőanyagok.

A nagyhőmérsékletű munkaterekben folyó technológiák sajátos igénybevételt jelentenek a falazóanyagok számára, ezért a tűzálló falazat ellenállóképességét ezek figyelembevételével kell meghatározni.

A néhány száz °C-tól több ezer °C-os tűzterek hőhatásának – megfelelő szilárdság mellett történő – elviselése önmagában is komoly problémákat vet fel, ami kiegészül termokémiai és termomechanikai hatásokkal is. A tűzállóanyagokat szokás csoportosítani kémiai jellegük (savanyú, bázikus, semleges), előállítási módjuk (formázott, égetett, nemformázott, ömlesztett) kötésmódjuk (kerámiai, vegyi, hidraulikus) szerkezetük (tömör, szálas), stb. szerint. Itt példaként a szilikatégla gyártását ismertetjük.

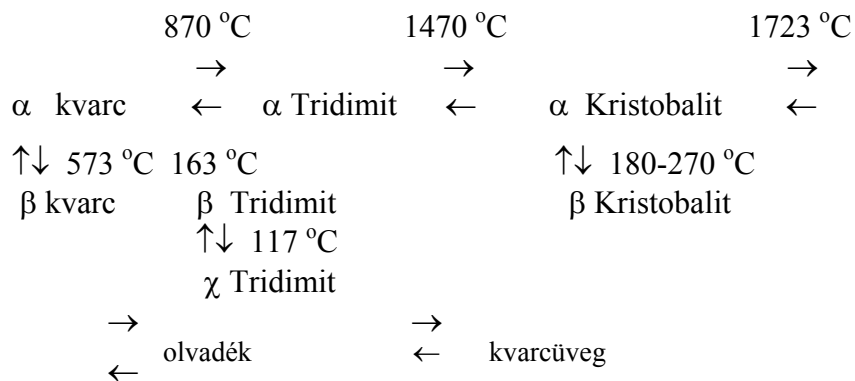
Szilika téglának nevezzük azokat a tűzálló anyagokat, ahol a SiO_2 tartalom 93 %-nál nem kevesebb, kovasav alapú anyagokból készül, mész vagy más kötéssel olyan módon, hogy az égetés folyamán a kovasav polimorf átalakulásait biztosítják.

A kovasav modifikációi és azok tulajdonságai:

A kovasav a természetben néhány kristályos formában található, vagy amorf formában, melyek polimorf átalakulásai követelik meg a technológiai előírásokat és biztosítják egyidejűleg a késztermék minőségi mutatóit.

A kovasavat a következő 8 formában ismerjük: kvarc (α , β) forma, a tridimit (α , β , χ), a krisztobalit (α , β) és kvarcüveg. A stabil forma általában az nagyobb hőmérsékleten, legtöbbször hűtés után keletkezik.

A kvarc modifikációs átalakulásait a következő formában tudjuk leírni:



A természetben legelterjedtebb a β kvarc. A kvarcot nem találjuk a homokban, a különböző kvarcitokban, kristályokban, ugyancsak az agyag és kaolinok kíséőjeként.

A β kvarc $573\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on átalakul α kvarccá, α kvarc ugyanakkor a természetben nem található.

Az α kvarc $870\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on lassan és csak mineralizátorok jelenlétében alakul át, egyes esetekben az α kvarc egy közbeeső kristobalit fázison keresztül alakul át. Az α tridimit természetben nem található. A hűtés következtében a visszafelé lejátszódó reakció β tridimitet képez, esetleg χ tridimitet. $1470\text{ }^{\circ}\text{C}$ felett átalakul α kristobalittá. A szilika téglagyártás technológiájából az égetés a legfontosabb fázis, melynél ezen modifikációs reakciók átalakulására nagy gondot kell fordítani.

A kvarc szemcsék összekötésére az égetés folyamán, valamint a kvarc átalakulásának meggyorsítására általában meszet adagolnak, mésztej formájában. A mésztartalom SiO_2 -re számítva $1,5 - 2,5\%$ között alakul, függően az anyag kémiai összetételétől és a késztermék rendeltetésétől. A mész elég erős mineralizátor, a termék száradásakor úgynevezett kivirágzás tapasztalható. Vízben nem oldódó mineralizátornak vasat használnak. A nyers szilárdság növelésére adagolnak a masszához szulfitlugot is. A massa elkészítése után a szilika téglá gyakorlatilag ugyanazon a technológiai fázisokon megy keresztül, mint bármelyik kerámiai kötő tűzálló anyag.

Az égetés folyamán a következő folyamatok játszódnak le:

1. SiO_2 és CaO kölcsönhatása, ahol metakalciumszilikát képződik, mely a vasoxiddal és a metaszilikáttal szilárd oldatot képez.
2. Megfelelően nagy hőmérsékleten olvadék képződik és ebből az olvadékból kristályosodik ki a tridimit és megfelelő szilárd oldat.
3. A kvarc polimorf átalakulásai.
4. A kvarc hőtágulása és a főbb termékek szilárdságának változása

A szilika téglagyártás törzsfája a 20. ábrán látható.

A szilika téglagyártásának folyamatában találkozunk néhány más technológiában nem alkalmazott berendezéssel, így a Symons törővel, mésztej keverővel és a propelleres slikker keverővel.

20. ábra: Szilika téglagyártás törzsfája [10]

2.4.4 Az üveg gyártástechnológiája

Az „üveg” szó két fogalmat képvisel, jelenti egyrészt magát a kereskedelmi termékeket, másrészt azt az állapotot, amelynek energiatartalma a folyékony és a kristályos állapot közé esik.

Valamely anyag akkor kerülhet üveges állapotba, ha azt folyékony állapotból elég gyorsan hűtjük le, hogy kristályosodás nélkül dermedjen meg. Az üveg átmeneti jellege abban jelentkezik, hogy egyesíti magában a szilárd halmazállapot ridegségét a folyadékok szerkezeti rendezetlenségével. Az üveges állapot kialakulásának kedvez, ha az olvadék viszkozitása nagy a likvidusz hőmérséklet közelében, ahol a kristályos fázis az olvadékkal egyensúlyban van.

A Waren-Zachariasen üvegszerkezeti elmélet kialakulása óta az üvegalkotó oxidokat három csoportba osztják:

1. rácsképző oxidok,
2. átmeneti oxidok,
3. módosító oxidok.

A rácsképző oxidok csoportjába a szilícium-dioxid mellett a bór-trioxid, foszforpentoxid tartozik. Átmeneti oxidnak tekintik az alumínium-oxidot, berillium-oxidot, titán-dioxidot, stb. A módosító oxidokat még további két csoportra: olvasztó- és stabilizáló oxidokra is bonthatjuk. Az elsőben az alkáli-oxidok, a másodikban az alkáliföldfém-oxidok mellett ólom-oxid, cink-oxid az ismertebbek.

Az üveg szerkezetét elsősorban a rácsképző ionok mennyisége jellemzi. A rácsképző ionokból alakul ki a szerkezeti váz. Az üveg szerkezetét ugyanis mai ismereteink szerint SiO_4^{4-} -tetraéderek kapcsolódása alakítja ki. A tetraéder középpontjában rácsképző kation helyezkedik el, amelyet négyes koordinációban helyezkedik el, amelyet négyes koordinációban oxigénionok vesznek körül. A kationok rácsképző jellegének eldöntésére a kation-oxigénion sugáráránya alkalmas. Ez az érték rácsképző esetében 0,2 és 0,4 között mozog.

Csaknem minden iparilag előállított üvegnek szilícium-dioxid az alapja, tehát a rácsképző kation a szilíciumion.

A szerkezet tisztázatlanságát főleg az üvegösszetétel változatos volta, a kombinációk nagy száma magyarázza.

Az üvegek tehát különböző oxidok összeolvasztásának eredményei. Összetételüket az alkotó oxidok súlyszázalékában adjuk meg, ami azonban nem jelenti azt, hogy az üvegben önálló oxidmolekulák szerepelnek.

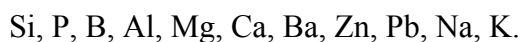
A kvarcüveg egymagában is kitűnő tulajdonsággal rendelkező üveg, de előállításához nagy hőmérséklet szükséges, s ez közhasználati cikkek előállítását gazdasági és termelékenységi szempontból nem teszi lehetővé. Az olvadékba bezárt levegő eltávolításához 1800 °C-ot jóval meghaladó hőmérséklet szükséges, a formázás pedig még ilyen körülmények között is igen nehéz. Ezen a ponton jelentkezik az olvasztóhatású alkáli-oxidok szerepe.

Ezek, amint nevük is mutatja, a szilícium-dioxid olvaszthatóságát segítik elő. Gyakorlati célokra elsősorban a nátrium-, továbbá a kálium-oxid jön számításba. Szilícium-dioxidból és nátrium-oxidból álló üveget a gyakorlatban vízüveg néven ismerik. Ez az üveg vízzeloldható s e tulajdonsága miatt nem alkalmazható az üvegtől egyébként megkívtat e tulajdonsága miatt nem alkalmazható az üvegtől egyébként megkívtat célokra. Ilyen üvegből gyártott palackban nem tárolható folyadék, mert az üveget oldaná. A vízüveg ezen tulajdonságán segítenek az úgynevezett stabilizáló oxidok, az üveg szerkezetébe beépülő módosító ionok ellenállóvá teszik az üveget kémiai és mechanikai behatásokkal szemben.

Az említett stabilizáló oxidok valamelyikének jelenléte ugyanis a vízüveghez képest növeli az üveg keménységét, nyomó-, szakítószilárdságát.

Az üvegek olvaszthatósága a rácsképző és módosító ionok arányától függ. Ismeretes, hogy az üvegekkel kapcsolatban olvadáspontról nem beszélhetünk, hanem az olvaszthatóságot az olvadék viszkozitása alapján ítéljük meg. A módosító ionokon belül az alkáli-oxid mennyiségétől függ az üveg olvaszthatósága.

A kereskedelmi és műszaki üvegekben anionként oxigén szerepel és a szerkezet felépítésében 11 féle kation vehet részt:



A többi kation és anion csak kísérő vagy színező anyagként szerepel kis mennyiségben.

Az üveg közelítő összetétele:



Amelyben az R jelölés helyén különböző fémek helyettesítik egymást.

A legegyszerűbb üvegnek, a nátronüvegnek összetétele például az alábbi:



Az üveg a természetben nem található. Leginkább a fekete színű obszidián közelíti meg az üveget, amelyet már az őskorban is mint követ faragtak, a rómaiak pedig tükörként használták. Az üveg bár mesterséges termék, mégis 5500 esztendővel ezelőtt már készíteni tudták homokból, mészkőből és szódából.

Az üveggyártás nyersanyagait két csoportra osztjuk:

- a) alapanyagok,
- b) segédanyagok.

Az alapanyagok nem minden esetben oxid alakban állnak rendelkezésre. Nem kémiaiilag tiszta anyagot, több-kevesebb szennyezőt tartalmaznak. Egy-egy nyersanyag rendszerint egy, néha két vagy több üvegalkotót is szolgáltat.

Szilícium-dioxid. Az oxid alapú üvegek legfontosabb alkotórésze. Az üvegipar nyersanyaga a tiszta kvarchomok. Felhasználhatóságát szemcsenagyság-megoszlása és vas-oxid, ill. egyéb színező oxidtartama határozza meg. Jobb üvegáruk előállítására olyan homok használható, amelynek SiO_2 -tartalma 99 % felett van, Fe_2O_3 -tartalma 0,02 %-0,05 %. Síküveg előállítására 0,15-0,20 %, Fe_2O_3 -tartalmú homok is felhasználható, míg a zöldüveg gyártására 0,5 % feletti vas-oxidtartalmú homok is alkalmas. (Magyarországon német import kvarchomokot és fehérvárcsurgói flotált homokot használnak.)

Szóda vagy nátrium-szulfát szolgáltatja az üveg Na_2O - tartalmát, amely a legfontosabb olvasztóhatású oxid. (NaCl bár olcsó lenne, nem használható, mert nehezen képez olvadékat.)

Kálium-karbonátot különleges üvegek készítésénél kalcinált (vízmentes) hamuzsír alakban alkalmaznak a Na_2O egy részének helyettesítésére.

Mészkőliszt szolgáltatja az üveg CaO -tartalmát. Nagytisztaságú kréta vagy márvány, illetve egészen olcsó üvegféleségeknél mészkő is felhasználható.

Ólomoxidot a kristályüvegekhez vagy az optikai célra szolgáló üvegfajtákhoz adagolják. Fontos az ólom-oxid tisztaságra, vastartalma nem haladhatja meg a 0,005-

0,008 %-ot. A rendszerint használt minimon (Pb_3O_4) kívül ritkábban PbO -ot is használnak. Ha az ólom-oxid fémólmot is tartalmaz, az üveget feketére színezi.

Bórvegyületek közül üvegeképző anyagként a bórsavat, rendszerint mint anhidridet (B_2O_3) és a bóraxot ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$) használják.

Dolomitból vagy magnézium-karbonátból származik az üveg MgO tartalma.

Timföld-hidrát adagolása biztosítja az üveg Al_2O_3 -tartalmát.

Az alapanyagokon kívül alárendelt mennyiségben segédanyagokat is használnak az üvegolvasztásnál. Ezek az üveg olvadását, ill. tisztulását segítik elő, elfedik az üvegben lévő vas-oxid színét vagy meghatározott színárnyalatot hoznak létre. Az olvasztáskor az üvegben képződő buborékok eltávolítására As_2O_3 -ot vagy nitrátokat juttatnak az üvegbe. Régen burgonyát, répát dobtak a nagyhőmérsékletű olvadékba, s így a hirtelen képződött gőzfejlődés a buborék távozását megkönnyítette.

Az üvegyártás nyersanyagainak ismertetésénél meg kell említenünk az üvegcserepet is, amelyet újraolvasztás céljából adagolnak az üveghez. Csak azonos vagy hasonló összetételű üvegcserepet lehet az olvasztásnál adalékként felhasználni. (Saját cserépnek azt az üvegcserepet nevezik, amely a gyárban a gyártás folyamán keletkezett.) A begyűjtőtől vásárolt idegen cserepet felhasználás előtt gondosan analizálni és tisztítani kell. A cserep üvegolvasztásnál 10-40 % mennyiségben kerülhet felhasználásra.

A nyersanyagok megfelelő arányban történő lemérése, majd gondos elkeverése után az üvegyártás folyamatának következő szakasza az olvasztás, amit a formálás, hűtés és utólagos megmunkálás követ. A főbb üvegformázási módszerek a következők: fúvás, húzás, öntés, hengerlés, sajtolás. Az olvasztás részfolyamatai: szilikátképződés, üvegesedés, tisztulás, homogenizálódás.

E folyamatok folytonos kemencében azonos időben, azonban térben elválasztva mennek végbe. A folytonos üvegolvasztó kemence vázlatát a 21. ábra mutatja. A közönséges üveg olvasztása 1450°C körüli hőmérsékleten történik.

Az üvegolvasztó kádmedencék részei: olvasztó-, tisztuló-, és kidolgozóter. Az első kettő nincs egymástól elválasztva, a harmadik részt úszó vagy átfolyó határolja. A kemence üzemmenetét a kidolgozás üteme szabja meg, ehhez alkalmazkodik a nyersanyag adagolása is.

21. ábra: Folyamatos üvegolvasztó kádkemence vázlata [10]

1–égőszájfoglalat, 2–égőtörök, 3–égőboltozat, 4–égőtalp, 5–tehermentesítő ív, 6–kemenceboltozat, 7–vasalás, 8–támasztóék, 9–árnyékoló fal, 10–felépítmény oldalfala, 11–orrkő, 12–zárkő, 13–vasalási oszlop, 14–keverőtérhossz, 15–keverőtér, 16–égőnyelvfeltét, 17–égőnyelv, 18–levegőakna, 19–választófal, 20–gázakna, 21–aknatolattyú, 22–kamraboltozat, 23–gyűjtőér, 24–levegőkamra, 25–gázkamra, 26–rácszat, 27–rostélykiképzés, 28–kamracsatornák, 29–peremkő, 30–1,2,3 oldalkádkő, 31–oldalkövek, 32–paliszádkövek, 33–kádalap, 34–fenékkő, 35–fenékvasalás, 36–átfolyótakarókő, 37–átfolyó oldalkő, 38–híd-fal, 39–kidolgozókad, 40–hídfal, 41–olvasztókad oldala, 42–hídtakarólap, 43–2-es égő, 44–égőszálfoglalat, 45–1-es égő, 46–váltócsatornák, 47–levegőváltó-csatorna, 48–gáz-váltócsatorna, 49–gázszabályozó szelep, 50–habosodás határvonala, 51–berakó

Síküveg gyártása

Az ablak- és táblaüveggyártás 1920-ig csaknem kizárólag nagyméretű hengerek fűvése útján történt. A mechanikai táblaüveggyártás 1923-ban még a kézi fűvés módszerét utánozta. Ebben az esztendőben az un. Lubbers-eljárás szerint gyártott ablaküveg az össztermelésnek 60 %-át tette ki, 1933-ban már csak 20 %-át.

A szakaszos üzemű Lubbers-eljárás nagyjelentőségű fejlődés volt a kézi és tudomunkát használó módszerrel szemben. De alig kezdett elterjedni ez a gyártási mód, a belga Fourcault (1925), az amerikai Libbey-Owens (1926) találmánya ennek fejlődését megakasztotta. Ezeknek sikerült a folytonos üzemű táblaüveggyártás kidolgozni.

Egyenes vonalú üvegemelőt (fésű) használva az üvegszalag függőleges húzását Fourcault úgy oldotta meg, hogy az olvadt üveg felületére samottból készült hajót helyezett. A hajó hossz tengelye mentén lévő nyíláson keresztül az olvadt üveg felbuggyan. Ezt az olvadt üveget sikerült csak felhúzni. A húzás közben a hajó felett képződő, hagyma alakú olvadékok közvetlenül a hajó felett hűtik, hogy a viszkozitást növeljék, és a húzást biztosabb tegyék.

Az üvegszalag emelésére azbeszttel borított 13-18 hengerpár szolgál. Az egyik hengercsatorna fix, a másik rugóra szerelt tengelyű. A hengerek zsaluszerűen kiképzett csatornában egymás felett helyezkednek el. Itt végzik az üveg feszültségtelenítő hűtését is. Az üveget a mintegy 8-9 m magas csatorna tetején automata vágógéppel már darabolni lehet. Levágják az üvegszalag két szélén levő megvastagodott csíkot is. A táblaüveg vastagságát a húzóhengerpár forgási sebessége szabja meg. A rendszert ma már nagy átmérőjű csövek gyártására is alkalmazzák.

A Libbey-Owens gépnél az üvegszalag nem vertikális, hanem a fürdő szintje felett 1 m magasságban csapágyazott vízszintes hengeren átfordítva horizontális irányban jut a hűtőcsatornába.

Mind a két eljárás 900 °C - 950 °C húzási hőmérsékletet alkalmaz. A Libbey-Owens- és a Fourcault-gép teljesítőképessége napi 2-300 m² üveg. Egy kemencén 3-12 gépet is el lehet helyezni. Ezért nem volt versenyképes a Lubbers-eljárás.

Manapság a legkorszerűbb táblaüveg-előállítási módszernél már nem használnak csónakot (düzni). A düzni nélküli eljárást Pittsburg-eljárásként is emlegetik a szakirodalomban.

A többrétegű biztonsági üveg poli(akrilsav-észter), poli(vinil-acetát) vagy cellulózészter ragasztóanyaggal összeillesztett két-három rétegű üveg. Többrétegű (5-7) ilyen üveg már golyóálló.

Az edzett biztonsági üveg („Ichor” „Sekurit”, stb.) a kémiai összetételét illetően normál tükörüveg. A kész üveglapot újra felhevítik és levegőáramban egyenletesen, de hirtelen lehűtik. Ennek következtében mindkét felületén jelentős nyomási feszültség keletkezik (bolognai üvegcsépp jelensége), ami morzsalékosan törővé teszi, és megakadályozza a nagy darabokra (szilánkokra) hasadást.

Kirakatüveg. Üvegöntés. Hengerlés. Önteni csak vastag táblákat pl. kirakatüvegeket szoktak. Ezek készítésénél az üvegolvadékos nagysúlyú hengerek terítik széjjel.

A szakaszos üzemű eljárással simára gyalult peremes asztalra öntik ki az üveget, amelyet fűtött henger terít széjjel. A felület nem sima és nem fényes. A táblát mind a két oldalán csiszolni és fényesíteni kell. Utóbbi műveletet úgy hajtják végre, hogy a nyers táblát gipsszel 6-10 m átmérőjű, pontosan vízszintes kör alakú asztallapra erősítik. Az asztallapot percnként 20-30 fordulattal forgatják. Az üveglapra merőleges tengelyen két bordázott öntöttvas futótest forog excentrikusan, miközben előbb durvaszemű, később finomabb, végül igen finom homokot vagy csiszolóport (pl. szilíciumkarbidot) juttatnak a lapra. A fényezés ugyanazon az asztallapon történik posztóval (filc) bevont hengerekkel, vas-oxidporral. Csiszolással és fényezéssel oldalanként 2-2 mm-rel vékonyodik az üveg.

Az üvegolvadékot az öntőasztalon szétterítő henger mintázott is lehet, ha áttetsző üveget akarunk készíteni („bordázott”, „ornamens”, „katedrál” üvegek).

Tetőfedésre huzalbetétes üveglapot készítenek úgy, hogy az asztallapra hengerelt üvegre hálót feszítenek, majd újabb üvegréteget hengerelnek rá. Az üvegolvadékot két forgó henger közé adagolják, amelyek szalagot formálnak. A szalag mozgókocsra fekszik, amelynek haladási sebessége akkora, mint a forgó hengereké. Ebből kiindulva megoldották a teljesen folyamatos kirakatüveg gyártását is.

Öblösüveg gyártása. Az öblösüveg megjelölés sokfajta árura vonatkozik. Nálunk is legalább 3000 féle áru sorolható ebbe a csoportba. Kézi gyártással, félautomata- és automata géppel állítják elő.

Kézi gyártásnál az üvegfüvő pipával, amely kb. 2-3 m hosszú és 1, 5-3 cm átmérőjű vascső, üveget vesznek ki a kemencéből. Lóbálással, forgatással egyenletes

falvastagságú üreges testté fűjják, majd formába helyezve további fűvással nyeri el végleges alakját. A formából kiemelve a tárgyat a pipáról leütik, hűtőkemencében a feszültségeket megszüntetik. A nyíláson maradt fölösleges darabot lepattintják, és az éles széleket beolvasztják.

A fűvással történő öblösüveg készítése a gyártásnak igen kezdetleges formája, a termelési kapacitás kicsi.

A félautomata eljárásnál a gép a gyártandó üvegáru előformájának nyílására helyezett olvadékból vákuummal zsákot formál, ezt helyezik a végleges formába, amelyben levegő befűvással alakítják ki a tárgy kész alakját. A legkorszerűbb öblösüveg gyártó gépek az automaták. Ezek teljesen önműködően végzik az üvegnek a kemencéből való kiemelését az előformába, majd a készformába helyezését és a hűtőszalagra juttatását.

Közepes teljesítőképességű automatagép 8 óra alatt 20-30.000 db palackot vagy konzervüveget állít elő.

Az üvegszínezés leggyakoribb módja az ionos (kationos) színezés, mely különböző kismennyiségű színező fémvegyületekkel történik. A színezés másik, kevésbé használt módjánál kolloid eloszlású fémekkel színezünk.

Műszaki üvegtermékek. Üvegszál, ill. a belőle készülő fonatok és üveggyapot gyártását kedvező mechanikai és elektromos tulajdonságok és jó hőszigetelő képessége teszi indokolttá.

Üvegszálat pálcahúzási centrifugális és olvadékból húzási eljárással állítottak elő régebben. Ma főleg a homogén csomómentes vastag szálak előállítására alkalmas szabályos üveggolyókból történő szálhúzási eljárást alkalmazzák. Az üvegszálat fonal, szalag, zsinór, kötél, szövet és üveggyapot formában hozzák forgalomba.

Hőszigetelési célokra gyártják a habüveget.

Üvegcsövet 50 mm átmérőig, legelterjedtebben az ún. Danner-féle vízszintes csőhúzási eljárással gyártanak. Nagyobb átmérőjű csöveket főleg a Fourcault-eljáráshoz hasonló Schuller-féle függőleges csőhúzással gyártanak.

Optikai üvegek nagy fényáteresztő képességű és különleges fényelnyelésű változatban készülnek. Követelmény a nagyfokú homogenitás és állandó optikai tulajdonság. Tökéletes feszültségmentesítést alkalmaznak. Lencsék, prizmák gyártásánál a precíziós utómegmunkálás döntő fontosságú.

Laboratóriumi üvegek jellemzője a nagy kémiai ellenállóképesség, gyors hőmérséklet-változásokkal szembeni ellenállás és a magas lágyulási hőmérséklet. Laboratóriumi üvegedényeket és eszközöket a kereskedelmi termékekkel azonos tömeggyártásban vagy egyedileg üvegtechnikai úton készítenek.

2.4.5 Építőipari kötőanyagok gyártástechnológiái

Kötőanyagoknak nevezzük azokat az anyagokat, amelyek – kémiai és fizikai folyamatok hatására – képesek folyékony vagy pépszerű állapotukból szilárd állapotúvá átalakulni, szilárd állapotukat (szilárdságukat) idők folyamán általában fokozni, s ezáltal a hozzájuk kevert szilárd anyagokat (adalékanyagokat) is összeragasztani. A kötőanyagoknak ez az értékes tulajdonsága teszi lehetővé széles körű alkalmazásukat az építőiparban.

A kötőanyagokat csoportosíthatjuk természetes (agyag, bitumen) és mesterséges (mész, gipsz, cement) kötőanyagokra. Megkülönböztethetünk ásványi eredetű, ún. Szervetlen kötőanyagokat (agyag, mész, gipsz, cement) és szerves kötőanyagokat (bitumen, enyv, gyanta). A kötőanyagok nagyobb része szervetlen, és jelen fejezetben csak a szervetlen építőipari kötőanyagokat tárgyaljuk. Halmazállapotuk, illetve előállításuk szerint a kötőanyagok lehetnek folyékonyak (vízüveg) vagy szilárd halmazállapotúak (klinker, égetett darabos mész). Ez utóbbiak rendszerint por alakban kerülnek felhasználásra (gipsz, cement, mészhidrát).

A kötőanyagok kötőképessége egyes esetekben fizikai folyamat révén jön létre: kiszáradás, a főlös folyadék elpárolgása, megdermedése, kocsonyásodása, stb. folytán (agyag, vízüveg, stb.), más esetekben kémiai folyamatok révén (mész, gipsz, cement). A fizikai folyamatok, amelyek folytán a kötőképesség előáll, megfordíthatók, így a kötőképesség csak az általa kialakított fizikai állapotban van meg. Így pl. a legősibb kötőanyagnak, az agyagnak a kötőképessége a kiszáradáson alapszik. Ha vízzel érintkezik, szétmállik.

A ma használt kötőanyagok legnagyobb része por alakban előállított szervetlen anyag, amelyhez vizet keverve a kötőképesség kémiai folyamatok útján áll elő. Ezen anyagok kötőképesség kialakulása rendszerint két folyamatra osztható. Az első folyamatban a vízzel összekevert kötőanyagok gépszerű halmazállapotból szilárd

halmazállapotba jutnak. Ez a folyamat a halmazállapot-változás mellett a vegyi folyamat megindulását is jelenti. A második folyamatban a már szilárd halmazállapotúvá vált anyag szilárdsága, kötőereje, a kémiai folyamat mind erőteljesebb kialakulása miatt növekszik. Az első folyamatot kötési, a másodikat szilárdulási folyamatnak nevezzük. Ezek a folyamatok – kötőanyagok fajtáitól függően – még külön részfolyamatokra bonthatók (előkötés, erőteljes kötés, előszilárdulás, erőteljes szilárdulás, utószilárdulás, stb.).

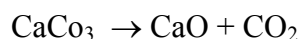
A kötőanyagokat két fő csoportra oszthatjuk, a nem hidraulikus és a hidraulikus kötőanyagok csoportjára, amelyekhez még egy harmadik csoport, a gyengén hidraulikus kötőanyagok, hirtautitok csoportja is tartozik.

2.4.5.1 Nem hidraulikus, levegőn szilárduló kötőanyagok előállítása

Ezek a kötőanyagok csak levegőn tudnak megkötni, megszilárdulni, szilárdságukat megőrizni vagy növelni. Víz alatt nem képesek megkötni, és a víz hatásának huzamosabb ideig nem tudnak ellenállni.

A mészgyártás

A mész nyersanyaga a mészkő (CaCO_3), amely hegységeket alkot. Előállítására az olyan mészkő alkalmas, amelynek kavasav-, illetve agyagtartalma 10 %-nál kisebb. A szennyezéseken kívül technológiai szempontból jelentős a mészkő szerkezete, tömörsége is. A tömörebb mészkövet hosszabb ideig kell égetni, a lazábbnak kisebb a szilárdsága. Az égetett mész előállítása egyensúlyi folyamat a következő reakció szerint:

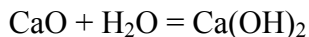


A mész égetésére forgódobos vagy aknás kemencét használnak elsősorban.

Az aknás kemencékben / 22. ábra / a nagyobb szemnagyságú, a forgódobos kemencékben a finomabb szemcsészetű mészkövet égetik. A korszerű kemencéket általában olajjal vagy gázzal fűtik, de még alkalmazzák a széntüzelésű kemencéket is.

A kemencékben – a tüzelőanyagtól függetlenül – három folyamat játszódik le: az anyag szárítása, a termikus bomlás (dekarbonizáció) és a hűtés.

Az égetett mész vízzel hőfelszabadulás közben reagál, oltódik.



Oltás után a méspép leülepedik, térfogata az égetett mésznek mintegy háromszorosa. A kolloidális állapotú kalciumhidroxid ugyanis a hidroxidképződésen felül további vízmolekulát tud felvenni, duzzad. A telített Ca(OH)_2 -oldatot mésvíznek, ennél több meszet tartalmazó tejszerű oldatot – amelyben a pép szilárd szemcséi lebegnek – mésztejnek, a lapátolható üledéket méspépnek nevezik.

Az égetett meszet kevesebb oltóvízzel (32-35 %-kal) porrá is lehet oltani – méshidráttá, amelynek előnye, hogy előállítása gyárban üzemszerűen végezhető, szákolva szállítása egyszerű, hátránya azonban, hogy kevésbé szapora, a nedvességre érzékeny és feldolgozás közben porképződésre hajlamos.

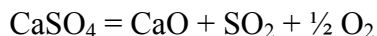
22. ábra: Mészégető, széntüzelésű aknákemence szerkezete [10]

a – méshidráttá, b – vizsgáló nyílás, c – égetett mész, d – hamu

2.4.5.2. Gipsz gyártása

A kalciumszulfát természetben előforduló fajtái a gipsz ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) és az anhidrit (CaSO_4). Építési célra mindkettőből lehet kötőanyagok előállítani. A kalciumszulfát 30°C -nál kisebb hőmérsékleten 2 molekula kristályvízzel kristályosodik, ennél nagyobb hőmérsékleten anhidrit képződik. A gipsz kristályvizének $\frac{3}{4}$ részét melegítés hatására elveszti. A porrá őrölt anyag vízleadása 120°C -on hevesen indul meg. A képződő hemihidrát ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$) vízzel keverve a leadott vizet ismét felveszi, és mintegy 1 %-os térfogat-növekedés közben kemény tömeggé szilárdul. Nagyobb hőmérsékleten, $180\text{--}200^\circ\text{C}$ -on a gipsz mindkét molekula vizét leadja és oldható anhidritté alakul. Ez a kis víztartalmú anyag igen jó kötési tulajdonságokkal rendelkezik.

$400\text{--}750^\circ\text{C}$ között égetve a gipszből nem jól oldódó anhidrit képződik (agyonégetett gipsz), ami az igen lassú vízfelvétel miatt építőipari célokra egyáltalán nem alkalmas, $800\text{--}1300^\circ\text{C}$ -on égetve, a CaSO_4 kismértékben (néhány %-ig terjedő mennyiségben) disszociál:



E disszociáció és a kristályszerkezet változása következtében az anhidrit ismét aktívvá és vízfelvételre hajlamossá válik.

Formagipsz előállítására a finomra őrölt gipszkövet keverővel ellátott edényben hevítik „főzik”. A három-négy órás „főzési” folyamat alatt, a 120°C körüli hőmérsékleten, a víz heves forrás közben távozik. Az anyag 150°C körül 10-14 % térfogatsökkenéssel majdnem teljesen féhidráttá alakul. 160°C -nál újra észlelehető a forrás jelensége. 170°C körül a „főzést” befejezik és a gipszet a hűtőkamrába bocsátják. A kapott termék a formagipsz 4 perc alatt elveszti önthetőségét és 16-30 perc alatt köt.

Az alabástrom és modellgipsz a formagipsztől a nagyobb tisztaságban és őrlési finomságban különbözik.

Vakológipsz. A darabos gipszkövet 900°C -on égetve kötőképes anhidrit áll elő, amelyben már kismennyiségben finom eloszlású CaO is jelen van. Lassabban köt, mint a formagipsz, de szilárdsága jóval nagyobb. A kalciumszulfát számos módosulatát találjuk benne az égetés körülményei szerint. A módosulatok egymás közti aránya befolyásolja tulajdonságait. Őrölt állapotban hozzák forgalomba.

2.4.5.3. Hidraulikus kötőanyagok (cementek) előállítása

Hidraulikus kötőanyagoknak nevezzük az olyan finomra őrölt anyagokat, melyek vízzel péppé keverve levegőn és víz alatt is megszilárdulnak (homok, kavics, zuzalék) vízzel oldhatatlanul összeragasztják.

A legnagyobb mennyiségben felhasznált mesterséges hidraulikus kötőanyag a portlandcement.

A cementek alapanyaguk, illetve vegyi összetételük szerint lehetnek: szilikátcementek, illetve aluminátcementek, melyeknél a szilárdulás tulajdonképpeni hordozói a szilikátok, ill. aluminátok. Az előbbiek közé tartozik a portlandcement és a portland alapú ferrocementek, hazánkban az S 54-es cement. Az aluminátcementek fajtái: az ömlesztett aluminátcement és a zsugorított bauxitcement.

Megkülönböztetünk még homogén cementeket, amelyek az alapanyagokon kívül legfeljebb a kötést szabályozó néhány százalék gipszet; heterogén cementeket, amelyek jelentékeny százalékban hidraulikus kiegészítő anyagot (kohósalak, pernye) tartalmaznak, valamint különleges cementeket, amelyek speciális célokat szolgálnak.

Itt mi csak a portlandcement előállításával foglalkozunk röviden.

A cement nyersanyaga agyag és mészkő vagy különböző márgák. Az összetételt úgy állítják be, hogy kalcium-karbonát tartalma kb. 76-78 % legyen. A nyersanyagokat kitermelik, előkészítik, égetik, finomra őrlik, s így kerül forgalomba.

A kitermelt anyagokat több fokozatban aprítják, majd a kívánt vegyi összetételnek megfelelően mesterségesen állítják össze a keveréket, és száraz vagy nedves őrléssel készítik elő. Az égetés akna- vagy forgókemencében történik. A cementgyártás folyamatát a 23. ábrán láthatjuk.

A forgókemence 3-4 % lejtésű, alátámasztott, tűzálló béléssel kifalazott forgó acélhenger, amelyben az égetendő anyag a forró füstgázokkal ellenáramban lassan végiggördül és közben klinkerré kiég. Hossza ma már meghaladja a 200 métert és átmérője a 6-7 m-t. A magasabban fekvő végén juttatják be az un. Nyerslisztet vagy nyersanyagból előállított iszapot, az alacsonyabb végén fűjják be a tüzelőanyagot (porszenet, gázt, olajat). A korszerű forgókemencékhez hőcserélő csatlakozik, amely

a kemence szárító és előmelegítő részét helyettesíti / 24. ábra /. A füstgázok hőjének jobb kihasználásával az égetést gazdaságosabbá is teszi.

23. ábra: Cement előállítás forgókemencében száraz eljárással [10]

a-nyersanyag, b-törő, c-nyersanyagsiló, d-malom, de-keverősiló, f-nyerslisztsiló, g-gipszadagoló, h-forgókemence, i-tüzelőanyag, k-tüzelőanyag-siló, l-tüzelőanyag-őrlés, m-porszénsiló, n-ventilátor, o-égő, p-hűtődob, q-klinkersiló, r-klinkeradagoló, s-klinkermalom, t-cementsiló, u-csomagolósiló, v-zsákolás, w-cementszállítás

24. ábra: Humboldt-hőcserélő [10]

I, II, III, IV – ciklonok, V – nyersanyag-adagoló, VI – ventilátor

A belépő nyersanyag előbb kiszárad, majd 500-700 °C körül elveszti hidratvizét. 800-1100 °C körül a kalcium-karbonát elbomlik, e felett (1100-1450 °C) a kalcium-oxid egyesül az agyag alkotórészeivel (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3), közben az anyag zsugorodik, s egy része megolvad.

Az átmenetileg kialakuló olvadékból nagy kalcium-oxid tartalmú ásványok kristályosodnak ki: ez a folyamat a klinkerképződés. Az égetés közben összeolvadt szemcsés anyag a klinker. A forró klinkert hűtődobban gyorsan lehűtik, hogy a nagy hőmérsékleten keletkező klinkervegyületek stabilak maradjanak. A lehűtött klinkert általában 1-2 hétig tárolják. A klinkerhez – finomra őrlés előtt – a kötési idő szabályozása céljából néhány százalék gipszkövet ($\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$) adnak.

A cementgyártás folyamán kialakuló vegyületeket klinkerásványoknak nevezzük. Ezek a cement legfontosabb tulajdonságainak hordozói. A portlandcement legfontosabb klinkerásványai:

- a) alít: trikálcium-szilikát,
- b) belít: dikalcium-szilikát.

A cementek építőipari felhasználhatóságát a százalékos vegyi összetétel, az egyes klinkerásványok jelenléte és aránya dönti el.

2.5 Műanyaggyártás

Műanyagoknak az olyan makromolekuláris anyagokat nevezzük, amelyeket részben vagy egészen mesterséges úton állítottak elő.

Makromolekuláknak viszont azokat a kémiai vegyületeket nevezzük, amelyek nagyszámú, azonos típusú atomcsoportból, ún. monomer egységből épülnek fel, és ezeket az építőelemeket elsőrendű kémiai kötések kapcsolják össze.

A gyakorlatban a makromolekulákkal azonos értelemben használják a polimer fogalmat is, bár ennek a fogalomnak eredetileg szűkebb tartalma volt, de ma már a polikondenzációval és poliaddícióval előállított műanyagokra is kiterjedt és elfogadott jelentéssel bír.

A műanyagok általános jellemzése:

- jó víz-, lúg- és savállóság,
- kedvező fizikai és mechanikai jellemzők (pl. kis sűrűség, nagy elektromos szigetelőképesség, könnyű megmunkálhatóság);
- általában egyszerű, olcsó és nagyvolumenű előállítás (kidolgozott alapanyag- és késztermék-gyártási technológiák);
- nemcsak helyettesítő anyagok, hanem olyan új alkalmazási területeket nyitottak meg, ahol természetes anyagok egyáltalán nem használhatók.

2.5.1 A műanyagok csoportosítása

Eredetük szerint a műanyagok lehetnek természetes alapúak, melyeket a természetben előforduló makromolekuláris anyagok feldolgozásával állítanak elő, ilyenek például:

- a kaucsuk alapúak (gumik),
- a cellulóz alapúak (viszkóza szál, azaz a műselyem),
- a fehérje alapúak (galalith),

valamint szintetikus műanyagok, melyek további csoportosítása a szintézis módja szerint történhet, s ezen az alapon:

- polimerizációs,
- polikondenzációs és
- poliaddíciós műanyagokat különböztethetünk meg.

Az így előállított műanyagokat jellegzetes fizikai-mechanikai tulajdonságaik alapján műgyantákra (lakk- és öntőgyanta), kaucsukszerű anyagokra (elasztomerek), szál- és filmképző anyagokra szokás felosztani.

A műanyagok fogalmát azonban az előbbiektől eltérően szűkebben is értelmezik, mely szerint a műanyagok lényegében a műgyanták és egyes kristályosodó polimerek, elhatárolva ezeket az elasztomerektől, továbbá a műszálaktól. Ez az értelmezés egy sor bizonytalanságot is hordoz, mert ennek alapján pl. a poliamidok a műanyag és a műszál, a poliuretánok pedig a műanyag, az elasztomer és a műszál, a

poliuretánok pedig a műanyag, az elasztomer és a műszál kategóriába egyaránt besorolhatók.

Hővel szembeni viselkedésük alapján a műanyagok két csoportra oszthatók:

- termoplasztok, melyek melegítésre bomlás nélkül lágyulnak és olvadás után hűtéskor újból megszilárdulnak. Ezeknél a nem térhálósított szerkezetben a polimer láncok szabadon el tudnak mozdulni egymáson (feldolgozásuk felmelegítéssel történik);
- duroplasztok, melyek felmelegítésre nem olvadnak, hanem elbomlanak, ami térhálós szerkezetükkel magyarázható (feldolgozásuk az adott formában történő térhálósítás után mechanikai módszerekkel végezhető).

Szerkezetüket tekintve az előző két csoport között helyezkednek el az elasztomerek. Legjellegzetesebb képviselőjük a természetes kaucsuk vulkanizálásával előállítható közönséges gumi. A láncmolekulák között kén-hidak létesülnek és a kéntartalom növelésével csökken a rugalmasság, míg eljutunk a kemény gumihoz (ebonit). A rugalmasság oka az, hogy erő hatására a kénhidak közötti molekularészek rendeződnek, az erőhatás megszűnése után pedig többé-kevésbé reverzibilisen visszaáll az eredeti rendezetlenség. Lényeges az is, hogy a makromolekulák nem tudnak egymáson elcsúszni. Ha ez lehetséges lenne, az erő által előidézett feszültség a molekulák elmozdulása folytán megszűnne.

A láncmolekulák közötti kötőerők változtatásával különleges tulajdonságú műanyagok állíthatók elő.

A műanyagszintézis módszerei közül a *polimerizáció* bír a legnagyobb gyakorlati jelentőséggel, mivel a nagyobb mennyiségben gyártott műanyagok, így a polietilén, a polisztirol, vagy a poli(vinil-klorid) előállítása polimerizációval történik.

Ehhez olyan monomer molekulák szükségesek, amelyek legalább egy $\text{C}=\text{C}$ – kettőskötéssel rendelkeznek. A polimerizációs reakciók első lépése a kettőskötés felhasítása, az iniciálás. Ez történhet hő, nagy energiájú sugárzás, vagy kémiai iniciátorok hatására. Mechanizmusát tekintve az iniciálás lehet ionos, ezen belül kationos, pl. Brönsted- vagy Lewis-savak részvételével, illetőleg anionos, pl. a sztirol esetében, amikor lítium-fenil iniciátorból képződő fenil-anion indítja el a láncot. A gyökös polimerizáció iniciátorai hidrogén-peroxid, azoalkánok, nagymolekulájú

peroxidok, stb. lehetnek, amelyekből hő hatására könnyen képződnek láncindító gyökök. Érdeemes megjegyezni, hogy a butadién polimerizáció első iniciátora a fém nátrium volt, innen származik a „BUNA” elnevezés.

A polimerizáció tehát reakciókinetikai értelemben láncreakció és a termék is láncmolekula. A láncindító lépés, az iniciálás nagy aktiválási energiát igényel, azonban a láncnövekedési reakcióhoz gyakorlatilag nincs szükség aktiválási energiára, így egyetlen aktiválási folyamattal nagyszámú molekula tud reagálni.

2.5.2 Polietilén gyártás

A polietilén a legnagyobb tömegben gyártott és talán a legfontosabb műanyag. Monomerjét, az etilént, Magyarországon a Tiszai Vegyikombinát Olefinüzemében a vegyipari benzin középhőmérsékletű krakkolásával (pirolízisével) állítják elő. Az etilén polimerizációjára a gyakorlatban a következő három módszert alkalmazzák:

1. nagynyomású (ICI) eljárás;
2. középnyomású (Phillips) eljárás;
3. kisnyomású (Ziegler-Natta) eljárás.

A nagynyomású (300-2000 bar) eljárásnál a komprimált, szuperkritikus állapotban lévő etilénhez kb. 0,01 % oxigén iniciátort kevernek. A csőreaktorba belépő gázelegy a kompresszió következtében kb. 200 °C-ra melegszik fel, s az etilén egy részéből hidroperoxid képződik, aminek bomlásakor gyökök képződnek. Ezek a gyökök iniciálják a polimerizációs reakciót. A reakcióidő néhány per; a nagy exoterm reakcióhő ($\Delta H_r = -105 \text{ kJ egységenként}$) következtében a polimer olvadékalapotban távozik a reaktorból. Az át nem alakult etilént recirkuláltatják. Az eljárás során kapott polietilén viszonylag sok elágazó láncú molekulát tartalmaz (ami a struktúrát, a viszonylag alacsony kristályos hányad következtében, hajlékonyá, mozgathatóvá teszi), és így sok tekintetben (pl. fólia készítés) előnyös, azonban a nagy nyomás miatt a gyakorlatban komoly technikai problémákat kell megoldani.

A 20-100 bar nyomáson végbemenő középnyomású, vagy Phillips-eljárás / 25. ábra / során az etilént heterogén katalitikus úton polimerizálják; a CrO_3 katalizátort oldószerben szuszpendálják, és kevert tankreaktorba vezetik be az etilént; a 150-200

$^{\circ}\text{C}$ hőmérsékleten, ionos mechanizmussal lejárászódo reakcióban teljesen lineáris termék keletkezik.

25. ábra: Középnymású polietilén előállítása Phillips-eljárással [9]

A kisnyomású eljárás során n-hexánban vagy más szénhidrogénben (vegyipari benzin) feloldott Ziegler-Natta katalizátor jelenlétében játszátják le a polimerizációt. Keveret tankreaktorba vezeték a diszpergálószer, a katalizátort tartalmazó oldatot, valamint az etilént, s a polimer pelyhes csapadék alakjában válik le, de a diszpergálószer hatására finom szuszpenziót alkot, és így eltávolítható a reaktorból. A diszperz rendszer megbontása után a polimert szűréssel választják el az oldószerből. A katalizátornyomok eltávolítására vízgőzdesztillációs módszert használnak. A termék kevés elágazást tartalmaz. A nyomásnak a reakció

szempontjából nincs jelentősége, a gyakorlatban 2-5 bar mellett dolgoznak, aminek az a szerepe, hogy a levegő oxigénje és a nedvesség kizárható, ugyanis a katalizátor ezekre rendkívül érzékeny, jelenlétükben gyorsan elveszti az aktivitását. A berendezés egyszerűbb, mint a többi eljárásnál, a polimerizáció gyors, így ez a leggazdaságosabb eljárás. Hátrány az érzékeny katalizátor és a termék nem teljes tisztasága (oldószer + katalizátor).

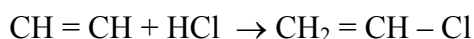
A költségkülönbségek ellenőre mindhárom eljárást elterjedten használják, mert a termékek eltérő tulajdonságúak, és különböző célokra használhatók. Így a nagynyomású termék, mint említettük fóliák, kábelszigetelések készítésére, míg a szilárdabb kis- és középnyomású termékek csövek, szerkezeti anyagok előállítására alkalmasak.

A polietilén kémiai ellenállóképessége is jó, ezenfelül még óriási előnye az, hogy elégetve semmilyen káros égéstermék nem keletkezik, ezért a hulladék megsemmisítése egyszerűen megoldható.

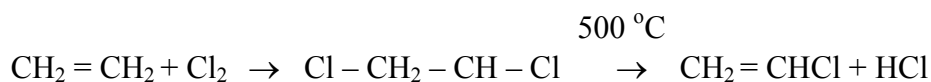
2.5.3 Poli(vinil-klorid), PVC gyártása

A felhasznált mennyiséget tekintve a PVC a második legfontosabb műanyag. Ez annak ellenére is elmondható, hogy a nem módosított termék tulajdonságai kedvezőtlenek (hőállósága rossz, alaktartása gyenge, gyorsan öregedik). Stabilizátorok, lágyítók, töltőanyagok és egyéb adalékok hatására azonban a PVC tulajdonságai kedvezően befolyásolhatók, és sokoldalúan használható termék állítható elő.

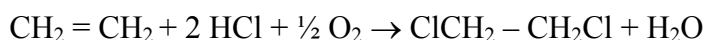
A monomer, a vinil-klorid előállítása korábban acetilénből, hidrogén-klorid addícióval történt:



Ma petrokémiai alapon, etilénből indulnak ki. A reakciósor első lépése az etilén gázfázisú, addíciós klórozása, ezt követi a diklóretán pirolízise, melynek termékeként képződik a vinil-klorid:



A folyamat során képződő hidrogén-kloridot ismételten fel lehet használni; a régebbi eljárásokban ezt acetilénnel reagáltatták, vagy visszaalakították klórrá. A modern, ún. kombinált eljárásban a hidrogén-kloridot az oxiklórozó reaktorban használják fel, ahol etilénnel és oxigénnel reagálva CuCl_2 katalizátor jelenlétében diklóretán képződik:



A gyakorlatban legelterjedtebben alkalmazott módszer a 26. ábrán vázolt emulziós polimerizáció, amit nagy autoklávokban hajtanak végre. Ma már nem ritkák a 50-100 m³-es reaktorok sem, amelyekben számítógépes vezérléssel állítják be a megfelelő polimerizációfok eléréséhez szükséges optimális hőmérsékletprogramot (30-70 °C). Az eljárás 5-7 bar nyomáson működik; általában 88-90 %-os vinil-klorid konverziót érnek el, s az át nem alakult monomert kigázosítják a termékből, ami fehér por, és közvetlenül nem használható.

Ez utóbbi megállapítással kapcsolatban emlékeztetnünk kell a bevezetőben mondottakra, miszerint a PVC tulajdonságai a felhasználási célnak megfelelően (fogaskeréktől a kenhető pasztáig) adalékolással változtathatók.

A kemény PVC mechanikai szilárdsága, sav- és lúgállósága miatt csövek, szerkezeti anyagok (pl. ajtók, ablakok, stb.) készítésére alkalmas. A lágy PVC-ből, ami 40-50 % lágyítót (dibutil-ftalát, trikrezil-foszfát, stb.) tartalmazhat, különböző fóliák, szigetelőanyagok, kábelek készíthetők. A 2:1 arányú lágyítással készített PVC pasztákat, amelyek kenéssel vihetők fel az adott felületre, műbőr, esőköpeny, stb. előállítására használják.

26. ábra: PVC előállítása vinil-klorid emulziós polimerizációjával [9]

1 – nyersanyag-tartály, 2 – reaktor, 3 – oldószer-tartály, 4 – leválasztó, 5 – hűtő,
6 – oldószerdesztilláló-oszlop, 7 – recirkulációs-tartály, 8 – keverő, 9 – centrifuga,
10 – szárító

2.6 Mikrobiológiai- és élelmiszeripari technológiák

A biológiai jellegű vagy eredetű anyagok kinyerésével, átalakításával és feldolgozásával a biotechnológia és az élelmiszeripar foglalkozik. Ezek feladatai közé tartozik, egyebek mellett a biokémia és a mikrobiológia eljárásainak gyakorlati alkalmazása.

A mikrobiológiai- és élelmiszeripari technológia szorosan kapcsolódik a klasszikus értelemben vett kémiai technológiához, hiszen a biokémiai eredetű anyagok feldolgozása azonos vagy legalábbis nagyon hasonló elvek és műveletek alkalmazását teszi szükségessé. Terjedelmi okokból jelen fejezetben csak illusztrációszerűen tudunk foglalkozni a sörgyártással, mint mikrobiológiai ipari példával, illetve a cukorgyártást mutatjuk be, mint az egyik legfontosabb élelmiszeripari ágazatot. Itt térünk ki továbbá a hulladékfeldolgozás egyik legjelentősebb biológiai módszerre, komposztálásra.

A mikrobiológiai technológiákhoz olyan eljárások tartoznak, amelyekben a mikroorganizmusok élettevékenységét – elsősorban anyagcseréjüket – hasznosítják valamilyen alapanyag vagy végtermék előállítására, szerves vegyületek lebontására, átalakítására, de ide tartozik a mikroorganizmusok (főként élesztőgombák) tömegtermelése is. A mikrobiológiai termelő (átalakító) folyamatot erjedésnek nevezzük. A folyamat nagyüzemi megvalósítására irányuló művelet az erjesztés, közhasználatú idegen kifejezéssel a fermentáció.

Kizárólag fermentációs úton állítják elő az erjedésipari (sör, étkezési ecetsav, stb.) termékeket. A gyógyszer- és az élelmiszeripar bizonyos területein is alapvető jelentőséggel bírnak a fermentációs eljárások, továbbá a szennyvíztisztításban is meghatározó szerep az erjesztés, hiszen ilyen úton távolíthatók el a mikroorganizmusok által lebontható szerves vegyületek. Mindezekén túl, mint már említettük, valamely mikroorganizmus nagy tömegének előállítása is lehet a fermentáció célja.

2.6.1 Sörgyártás

A sör a maláta cukrosított vizes kivonatának alkoholos erjesztésével készített, komlóval ízesített, kis alkohol- és viszonylag nagy szárazanyagtartalmú szénsavdús ital.

A sörfőzés az egyik legrégebb foglalkozás, hiszen az ásatások leletei alapján legalább 4000 éves múltra tekint vissza, s a sörkimérést már a babiloni uralkodónak, Hammurabinak (i.e. 1728-1686) a törvényei is pontosan szabályozták. Érdekes

megemlíteni, hogy 1516-ban fogadták el Bajorországban az ún. „tisztasági törvényt”, amely a sörfőzéshez csak négy alapanyag, a maláta, a víz, a komló és az élesztő felhasználását engedélyezte.

A sörgyártás fő nyersanyaga az árpa, amelynek keményítőtartalmát malátává alakítják, aminek nagy része a sörfőzés folyamán maltózra bomlik le.

A sör a kesernyés ízét a komlótól kapja, amelynek minőségétől igen nagy mértékben függ a sör minősége is.

A maltóz- és komlótartalmú sörlé alkoholos erjedését a speciális sörélesztő enzimeji idézik elő.

A nyersanyagok között a legnagyobb mennyiséget a víz jelenti, amely kémiai összetételével befolyásolja a sör karakterét, valamint a gyártás igen sok folyamatát.

A sörgyártás egymást követő műveletei:

A sörgyártás a *malátkészítéssel* kezdődik; ennek lényege az, hogy a gyártás folyamán az árpaszemben enzimek képződnek és bizonyos biokémiai reakciók mennek végbe. Ebből a célból az árpát mesterségesen ki kell csíráztatni, majd megfelelő időpontban a folyamatot meg kell szakítani.

1. Az *áztatás* alatt az árpaszemek belsejébe vizet juttatunk, aminek hatására az enzimek aktiválódnak és megindul a csírázás. Az életfolyamatok megindulásához oxigén is szükséges, ami levegőztetéssel biztosítható. Az áztatásra több méter átmérőjű tölcseres áztatókádak szolgálnak; a 2-3 nap időtartamú folyamat 10-12 °C hőmérsékleten megy végbe optimálisan, miközben az árpaszemek közel 50 % vizet vesznek föl.
2. A *csíráztatás* célja az enzimeképződés elősegítése, illetőleg az enzimek aktiválása. A maláta legfontosabb enzimejei az amilázok, melyek a cefrézéskor lebontják a keményítőt. Jóllehet az árpaszem igen sok enzimet tartalmaz, az amilázokat nem lehet kimutatni, ezek a csírázás folyamán képződnek. A csírázás levezetése aszerint különbözik, hogy a malátát világos vagy barna sörök készítésére kívánják felhasználni. Világos sörök esetében a csíráztatás 6-8 napig tart, és ennek folyamán a kezdeti 10-12 °C hőmérsékletet 15-17 °C-ra emelik; ilyenkor viszonylag sok β -amiláz képződik, ami a keményítőt maltózra képes lebontani. Barna sörök készítésekor rövidebb ideig (4-5 nap) és magasabb hőmérsékleten (kezdetben 15-17 °C, majd 20-23 °C) csíráztatják, ilyenkor sok α -amiláz

képződik, ami főleg dextrinekké (a barna sörök jellegzetes szín- és zamatanyagai) bontja a keményítőt. A csíráztatást malátaszérún végzik, ahol megfelelő páratartalmat és oxigénellátást kell biztosítani az életfolyamatok fenntartásához, a termék az ún. „zöldmaláta”.

3. Amikor az árpaszemben az átalakulások már kellő mértékben előrehaladtak, az enzimműködést az aszalással állítják meg, melynek során további íz- és színanyagok is képződnek. Világos sörök készítésekor 45 °C hőmérsékleten végzik a műveltet, ahol kevés színanyag alakul ki, és a β -amiláz nem károsodik. A barna söröknél alkalmazott 100 °C sok színezék és zamatanyag keletkezik, de az enzimek károsodnak. Az aszalást tálcás vagy szalagos szárítóberendezésekben végzik és csíráatlanítás után kapják a tárolható, stabil malátát.

A sörgyártás második főfolyamata a sörlé előállítása, melynek célja a malátában lévő keményítő lebontása vízzeloldható cukrokká, mert ezek csak oldatban erjeszthetők alkohollá.

4. A sörlé gyártása a maláta őrlésével kezdődik, amit általában hengermalomban végeznek.
5. A malátaőrleményt ezután a cefrézőüstben (jellegzetes vörösrézüst) megfelelő mennyiségű vízzel keverik, azaz „becefrézik”.
6. A cefrézés folyamán a maláta keményítő- és fehérjetartalma az enzimek hatására lebomlik, a művelet célja az enzimműködés számára kedvező körülmények megteremtése. A cefrézési eljárások lényege, hogy a hőmérsékletet fokozatosan emelik, az egyes enzimek optimális hőmérsékletén pedig egy-egy „pihentetést” iktatnak közbe. Így 45-50 °C-on a fehérjék hidrolizálnak, 60-65 °C körül főként maltóz (diszacharid), 70-75 °C-on (ha a maltózképző pihentetési szakasz elmarad) pedig dextrin (oligoszacharid) keletkezik. Az erjesztésre kerülő sörlé összetétele tehát attól függ, hogy eme három hőmérséklet tartományban milyen időtartamú a pihentetés.

A cefrézés befejezése után a cefrét szűrik, hogy a maláta oldhatatlan részeitől, a „törköly”-től (ami főként héjból és csírából áll) elválasszák a sörlét.

7. A szűrt cefréhez ezután 1 hektoliter sörre számítva 0,1-0,2 kg komlóvirágot adnak, és mintegy két órán keresztül forralják. A komlófőzés közben a sörlé átveszi a komló keserű- és aromaanyagait, de a forralás hőmérsékletén az enzimek dezaktiválódnak; a komlóolaj és –gyanta antiszeptikus hatása ezt is

elősegíti, a komlóban lévő csersavak pedig a fehérjék egy részének kicsapásával növelik a sör stabilitását. A komlóforralás befejezése után a sörlét még melegen szűrik, a kapott oldatot „színsörlé”-nek nevezik.

8. A sörlevet csak alacsony hőmérsékleten lehet erjeszteni, ezért a lehető leggyorsabban 5-6 °C-ra kell lehűteni, ezt a műveletet már a hűtőházban végzik. A hűtés folyamán a rosszul oldódó anyagok (fehérjék, csersavak, stb.) kiválnak, ezt a „seprő”-nek nevezett csapadékot szűréssel vagy centrifugálással távolítják el.

Az erjesztésre alkalmas sörlé a készítésére felhasznált maláta szárazanyag tartalmának mintegy 70-75 %-át kitevő extraktanyagot tartalmaz. Ennek koncentrációját Balling fokokban (B°) adják meg, ami azt fejezi ki, hogy 100 kg 17,5 °C hőmérsékletű sörlé hány kg extraktanyagot tartalmaz.

9. A sörlében megtalálható cukrok az élesztő (sörélesztő: *Saccharomyces cerevisiae*) enzimjeinek hatására az erjesztés folyamán alkohollá- és szén-dioxiddá alakulnak. Eközben olyan erjedési melléktermékek is képződnek, amelyek a sör zamatát, ízét, illatát és egyéb tulajdonságait lényegesen befolyásolhatják. Az erjesztést az erjesztőpincékben végzik, a minőségi söröket klasszikus módon, nyitott erjesztőkádakban, míg a tömegárut nyomás alatt, erjesztőtankokban készítik. A főerjedés 5-6 °C hőmérsékleten a módszertől függően 5-9 napot vesz igénybe.
10. A sör végső formája az érlelés, vagy a söriparban elterjedt kifejezéssel éve az ászakolás folyamán alakul ki. Ez a folyamat lényegében utóerjedés, ami a minőségtől függően néhány napig (tömegáru) vagy 1-2 hónapig tart, s ezt zárt tartályokban végzik, hogy a képződő szén-dioxid ne távozhasson el. Az ászakolás befejeztével a sör kitisztul és telítődik szén-dioxiddal.
11. A készre érett sört ezután nyomás alatt szűrik, majd palackokba vagy hordókba lefejtik, szükség esetén pasztörözéssel tartósítják.

A különböző típusú sörök 1,5-6 / etilalkoholt, 3-10 % extraktanyagot és 0,25-0,4 % szén-dioxidot tartalmaznak. Az extrakt zömét dextrinek, cukrok, aminosavak, fehérjék, szervesen oldható sók és zamatanyagok teszik ki. A sör tartalmazza az élesztőből és a malátából származó vitaminokat is. Figyelmet érdemel, hogy 1 liter átlagos minőségű sör szénhidráttartalma kb. 150 g kenyérnek, nitrogéntartalma pedig 120 g tejnek vagy 25 g húsnak felel meg.

A világ évi sörtermelése kb. 80 milliárd liter. Hazánkban Kőbányán, Pécsen, Nagykanizsán, Sopronban, Bőcsön (Borsodi Sörgyár) és Martfűn működik sörgyár, az évi termelés kb. 800 millió liter (ebből Kőbánya 400, Bőcs 200 millió liter). Magyarországon az egy főre jutó sörfogyasztás a háború előtti 4 literről napjainkra közel 100 literre emelkedett, így a hazai termelés nem fedezi az igényeket, a hiányzó mennyiséget importból fedezzük.

2.6.2 Cukorgyártás

A közönségesen cukornak nevezett mezőgazdasági-ipari termék világtermelése kb. 50 millió tonna/év. Ezt a mennyiséget alapvetően két nyersanyagból, cukornádból és cukorrépából állítják elő, kb. 50-50 %-os arányban.

Európában és így Magyarországon is a cukorrépa az alapanyag, ezért csak ennek feldolgozását ismertetjük.

A cukrot a cukorrépa (*Beta vulgaris*) vastag gyökere, a répatest tartalmazza, szacharóz formájában. A szacharóz az α -D-glükóz és β -D-fruktóz kondenzációjára révén kialakuló, nem redukáló diszacharid, ami a cukorrépában 15-20 százaléknyi mennyiségben fordul elő.

A cukorgyártás fő szakaszai a következők:

1. Az előkészítő műveletek során a répát mossák és szeletelik. A répaszeletelő gép „háztető”-alakú szeleteket készít, amelyek kellően nagy felülettel rendelkeznek és nem tapadnak össze.
2. A lényerés, vagy „diffúzió” során a répaszeleteket előbb 80 °C hőmérsékletű vízzel tájékoztatják fel, ami elegendő sejtfalak elroncsolására („plazmolizis”), majd az ellenáramú diffúzorokban 50-60 °C körül oldják ki a cukrot. Az extrakció összes cukorvesztése mindössze 1-2 %. A nem cukoranyagok közül a fehérjék, a szerves savak, az ásványi sók, stb. is oldatba mennek. Ha a nyerslé sok ilyen anyagot tartalmaz, akkor a kristályosítás során további cukorvesztés léphet föl. Különösen jelentős tényező az invertcukor kristályosodásgátló hatása. Az invertcukor a szacharóz hidrolíziséből („inverzió”) származó ekvimoláris glükóz-

fruktóz elegy. Inverzió következhet be a tárolás alatt és az extrakció folyamán, a répában jelenlévő invertáz enzim hatására.

3. A nyerslé tisztításának célja a cukor kristályosodását akadályozó szennyeződések, az ún. „melaszképző anyagok” eltávolítása. Ennek során először 80-90 °C hőmérsékleten annyi mésztejet adnak a nyersléhez, hogy annak az eredeti 5 körüli pH-ja kb. 11-re növekedjen. A mésztejes derítés hatására a szerves savak, a fehérjék és a foszfátok kicsapódnak. A mésztej feleslegének eltávolítása szén-dioxid bevezetéssel, szaturálással történik. A képződő CaCO_3 csapadék („mésziszap”) a kicsapódó kolloidok szűrését is megkönnyíti.
4. A vákuumdob-szűrőről kikerülő híg levét ezután 60 % szárazanyagtartalomig bepárolják. A bepárlásra leggyakrabban a háromtestes vákuumbepárlót használják. A művelet során némi invertcukor képződés, karamellizálódás, kálcium-karbonát kiválás is végbemegy. Ezért a szirupot ismételten szűrik, majd ismételt bepárlással 10 % víztartalmú sűrűlet készítenek, és hűtéssel (valamint oltókristályok adagolásával) megindítják a kristályosítást.
A kristályokat centrifugálással választják el az anyalúgtól, amit ismét bepárolnak és kristályosítanak. Végül egy, már nem kristályosítható, feketésbarna szirup, a melasz marad vissza.
5. A nyerscukor finomítása régebben aktívszenes derítéssel történt, ma erre a célra kizárólag lencserés eljárásokat használnak.

A cukorgyártás főterméke a kristálycukor, a porcukrot ennek őrlésével állítják elő, kockacukor készítésekor a cukorórleményt sziruppal keverve formába préselik.

A melléktermékek közül a kilúgozott répaszelet állati takarmányként hasznosítható, a szaturálás során nyert mésziszap kitűnő talajjavító anyag, különösen, ha figyelembe vesszük, hogy foszfátokat is tartalmaz.

A cukorgyártás legértékesebb mellékterméke a melasz, ami egy sűrű, sötétbarna színű, jellegzetes szagú és ízű szirup. Szárazanyag tartalma 75-80 %, aminek 85-90 %-át a különböző, nem kristályosodó cukrok teszik ki. A melasz takarmányozásra is felhasználható, de igazi jelentősége abban áll, hogy néhány mikrobiológiai iparág (élesztő-, tejsav-, vaj-, sav-, citromsav-gyártás) nélkülözhetetlen nyersanyaga.

A cukorgyártás idényjellegű iparág, mert a répát a cukortartalom csökkenése és egyéb károsodások (fagyás, rothadás, stb.) miatt a lehető leggyorsabban fel kell dolgozni. A kampány a szedés kezdetétől (szeptember vége, október eleje) néhány hónapig tart. Az újabb eljárásokban a kampány során csak a sűrűlé készítéséig folytatják le a műveleteket, ezt a terméket tárolják, és a répa feldolgozása után készítik el a végtermékeket.

2.6.3 Komposztálás

A komposztálás a szerves-anyag tartalmú hulladékok ártalmatlanításának régóta ismert és alkalmazott módszere.

A komposztálás lényege, hogy a szerves anyagot tartalmazó hulladékok (szemét, szennyvíziszap) megfelelő környezeti feltételek mellett, elsősorban mikroorganizmusok és oxigén hatására lebomlanak, szervesetlen ásványi és stabil szerves anyagok keletkeznek. A komposztálási folyamat hőfejlődéssel jár, amely az alkalmazott technológiai tényezőktől függően eléri az 50-70 °C-ot is. Ezáltal a hulladékokban jelenlevő patogén mikroorganizmusok – a spórások kivételével – elpusztulnak, a lebomlott szerves anyag (komposzt) már nem tartalmaz kórokozókat. Az eljárás végterméke a földszerű kb. 40-50 % nedvességtartalmú anyag, mely humuszképző szerves-anyag- és növényi tápanyag-tartalma miatt a mezőgazdaságban a talajtermelékenység növelésére hasznosítható.

2.6.3.1 *A komposztálás elméleti alapjai*

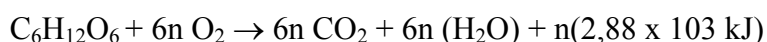
A komposztálás az a biotechnológiai eljárás ahol:

- A szubsztrátum túlnyomóan szilárd vagy vízzoldhatalan fázisban van.
- Felületét vízfilm vonja be.
- A mikroorganizmusok aerob körülmények között végzik a lebontást.

A komposztálás túlnyomórészt aerob biokémiai folyamat. A folyamatban részt vevő mikroorganizmusok enzimszisztemei a szerves anyagokat biológiai oxidáció útján lebontják.

A komposztálást a legújabb kutatások tehát az aerob fermentáció műveletei közé sorolják, ahol a bontási folyamat sebességét Michaelis-Menten és Monod által meghatározott egyenletek írják le.

A kémiai reakciók elméleti összegzése az aerob mikrobiológiai folyamatokban a következők szerint írhatók le:



A komposztálást végző mikroorganizmusok (termofil baktériumok, gombák és mezofil baktériumok) a szaporodáshoz és az életműködéshez szükséges energiát tehát a szerves hulladék-anyagok lebontása útján nyerik.

A szervesanyag-lebontó és transzformáló folyamat a következő főbb szakaszokból áll.

- Iniciáló kezdeti szakasz (gyors felmelegedés).
- Mezofil szakasz lassú felmelegedéssel együtt.
- Termofil, lassú lehűléssel.
- Utóérlelő, teljes lehűléssel.

A komposztálás során a szerves anyag aerob lebomlása több lépcsőben megy végbe, az anyag-összetételtől függően eltérő sebességgel.

Ennek megfelelően a kapott termék is még különböző állapotú. Ezek megnevezése is eltérő lehet:

- Friss (nyers) komposzt
- Érett komposzt
- Komposztföld

A könnyen lebontható szerves anyag (szénhidrát, fehérje, stb.) lebomlása gyorsabb, ezek a komposztálás során a kezdeti időszakban átalakulnak, a nehezebben bontható anyagok (lignit, keratin, stb.) a keletkező humuszvegyületek felszaporodnak. Ezáltal a komposzt egy lebontási folyamatban levő anyagkomplexumnak tekinthető.

A mikroorganizmusok szaporodási sebessége és az életműködéshez nélkülözhetetlen tápanyagok mennyisége között egyértelmű összefüggéseket állapítottak meg. Ezáltal a komposztálási folyamatok irányát eldöntő tényezők meghatározhatók és technológiailag szabályozhatók (pl. komposztálandó anyag minősége, C- és N-tartalma, nedvességtartalom, levegőellátottság, stb.)

A komposztálást befolyásoló főbb tényezők a következők:

- Anyagösszetétel (bonthatóság)
- Nedvességtartalom
- Levegőellátottság
- Tápanyag arány
- Anyag(ok) keveredése
- Szemcsemérete
- Hőmérséklet

A hulladék-anyagok összetételét tekintve a komposztálás komposztálással csak a mikroorganizmusok számára hozzáférhető és toxikus anyagot nem tartalmazó szerves hulladékok bonthatók. Ezért a kommunális hulladékoknál a hulladékból a műanyagok, üveg kiválasztását meg kell oldani, iszap esetében a nehézfém-tartalom értékét bekeverés előtt meg kell határozni.

Különösen döntő jelentőségű a toxikus hatás ellenőrzése a különböző ipari üzemekből származó iszapok komposztálósos ártalmatlanítása előtt.

A komposztáláshoz szükséges optimális nedvességtartalom különböző kutatások alapján 45-55 %.

Ez az optimális nedvességtartalom vagy mesterséges nedvesítéssel (locsolással) vagy egyszerűbben települési iszapokkal való együttes kezelés esetén érhető el. Ez a hatás is az együttes komposztálás előnyét indokolja. A nedvességtartalom egyenletes eloszlása fontos tényező, ezért a forgatásos homogenizálás a komposztálás alapvető művelete. A képződő hő gyakran kiszárítja a komposztálás alatt levő hulladék-anyagokat, ezért a nedvességtartalom ellenőrzése szükséges.

Az aerob viszonyok meghatározóak a lebontás folyamatában, ezért vagy állandó vagy időszakos levegőztetés szükséges a mikrobák oxigén ellátottságához. Megfelelő oxigén nélkül a bomlás anaerobbá válik és ez kedvezőtlen szaghatással (ammónia, kén-hidrogén, stb.) jár. Állandó keverés esetén (forgódob, stb.) a lebomlás gyors, de energiaigényes, időszakos átforgatást alkalmazva a lebomlás lassú és nagy területre van szükség a tároláshoz. Ezért a korszerű berendezéseknél folyamatos levegőztetést alkalmaznak 0,6-2,0 m levegőt adagolva 1 kg szerves (száraz) anyagra számítva. Víztelenített szennyvíziszapok komposztálásánál a szemet adagolás fellazítja az iszapot, így hozzáférhetővé teszi a levegő számára.

A komposztálási folyamatok sebességét döntően befolyásolja a hulladékok tápanyag, ezen belül pedig a C/N aránya. A lebontásnál a C/N aránya optimuma 15-25 közötti érték, városi szemétnél ez az arány 25-35. A komposztálási folyamatot gyorsítani lehet nitrogéntartalmú anyagok bekeverésével. Ilyen anyag lehet nitrogéntartalmú műtrágya, de célszerű nitrogéntartalmú egyéb hulladékok mint például kommunális és ipari iszap bekeverése is.

A hulladék-szennyvíziszap közös komposztálása tehát nemcsak a keverék magasabb nedvességtartalma érdekében, hanem az optimális C/N arány kialakításához is előnyös. A C/N arányváltoztatásával a komposztálási folyamat irányítható, ezért a komposzt előállítás során az üzemszerű, állandó ellenőrzés szükséges.

A hulladék-anyagok szemcsemérete (aprózottsága) szintén kihat a levegő ellátottságra és a lebontás sebességére. Az aprított anyagot nagyobb felületen bontják a mikroorganizmusok. Az optimális szemcseméret 25-40 mm, a hulladék túlzott aprózottsága az anaerob folyamatoknak kedvező (tömörödés miatt). A szilárd hulladékokat komposztáló technológiák nagy része a megfelelő méret kialakítására őrlő, aprító berendezéseket alkalmaz.

A komposzt-hőmérséklet a komposztálási folyamat jellemző paramétere:

- ennek kísérleti (laboratóriumi vagy fél-üzemi) vizsgálatával eldönthető, hogy az adott anyagkeverék a konkrét műveleti körülmények között komposztálható-e,
- állandó ellenőrzésével a komposztálás szabályozható.

A hő szerepe a hulladékokban előforduló kórokozók életképességének csökkentésében, elpusztításában jelentkezik, ennek a ténynek bizonyítására számos meggyőző kísérletet folytattak. Lényeges tényező, hogy ez a folyamat csak a jól irányított és tényleges aerob lebontás esetén megy végbe kellő hatásfokkal, ezért a műveleti előírások és a technológia „hőmérséklet-lefutásának” kontrollja elengedhetetlen.

2.6.3.2. Komposztálási technológiák:

A komposztálás régóta alkalmazott és jól ismert hulladékkezelési eljárás, amelyet eleinte jól bontható mezőgazdasági és egyéb hulladékok ártalmatlanítására, illetve hasznosítására használtak. Később a szilárd települési hulladékok (városi szemét), és szennyvíziszap együttes kezelése vált jellemzővé.

Ennek megfelelően rendkívül bonyolult üzemek létesültek a szerves és szervesetlen hulladékok szétválasztására a nagyvárosok hulladékkezelő telepein.

A termék (komposzt) minősége megszabja a termék értékesíthetőségét és elhelyezhetőségét (visszaforgathatóságát). Az új (2001-es) hulladékgazdálkodási törvény a hulladéklerakókba vihető lebomló szerves anyagok részarányának folyamatos és drasztikus csökkentését írja elő. Ezért ezekre (erdő- és mezőgazdasági hulladékok, szennyvíziszap, stb.) más úton történő ártalmatlanításáról kell gondoskodni.

A komposztálás – mivel a természetben lejátszódó (spontán) folyamatokra épül - ökológiailag kedvezőbb más megoldásoknál. Ezért napjainkban a komposztálás mint hulladékkezelési eljárás „reneszánszát” éli.

A komposztálás műveletei:

A hulladékok komposztálása több egymáshoz kapcsolódó műveletből áll, melyek a komposzt üzem felépítésétől függően változnak.

A 27. ábrán egy összetett szemét-szennyvíziszap együttes komposztálást megvalósító berendezés műveletei láthatók.

A bemutatott ábra alapján is jól követhető, hogy a komposztálási technológiák több lényeges műveletből épülnek fel, melyek – a nagyszámú variációs lehetőség mellett – az alábbi egységekre bonthatók:

- beszállítás,
- nyersanyagok előkészítése (aprítás),
- keverés,
- az érlelés,

- az értékesítésre való előkészítés (utóaprítás, rostálás, szükség szerinti utóérlelés).

27. ábra: Az együttes komposztálás általános technológiai folyamata [11]

A korszerű komposzt üzemeknél a beszállítást követően a rostálás, illetve az őrlés aprítás műveletei jelentkeznek először. Természetesen ezek a berendezések mind stabil formában telepíthetők és üzemeltethetők.

A rostáló-berendezések nagy áteresztő képességgel kell, hogy rendelkezzenek. Az előaprításhoz gyakorlatilag bármilyen 3-25 mm lyukátmérőjű rosta típust lehet alkalmazni. A felaprított anyagok autórostálására tetszőlegesen alkalmaznak dob vagy rácsrostákat.

A háztartási hulladékból készült komposztokban nem kívánatosak a vasrészek, ezért vasleválasztásra különböző kialakítású, folyamatos mágneseket alkalmaznak.

A komposztálás előkészítése során alkalmazott főbb aprító típusok a következők:

- kalapácsos aprítók,
- ütőaprítók,
- késes aprítók,
- hengeres törőberendezések,
- kaszkád (lépcsős) aprítók.

A hulladékfeldolgozásnál a kaszkád aprítók bevezetése lényeges újdonságot jelentett az utóbbi években.

A korszerű komposztüzemek a szennyvíztisztító telepek iszapját is feldolgozzák. A szilárd és iszaphulladék homogenizálása érdekében keverő berendezéseket alkalmaznak. A legtöbb helyen ún. dobos hengeres keverőket üzemeltetnek. Ezeket gyűjtőnéven Dano-Bio-stabilizátornak is nevezzük.

A komposztminőség érdekében szükséges az ún. kemény anyagok (üveg) kiválasztása. A keményanyag kiválasztó berendezések zöme a ballisztikán alapul, illetőleg fajsúlyuk, a hulladék különböző szemcseméret, alakja, fajsúlya játszik szerepet.

A komposztálási technológiák osztályozása:

Az egyes komposztáló üzemek (eljárások) a technológia körülményeitől az adott alkalmazási helyzettől függően több szempont szerint is osztályozhatók.

A leggyakrabban alkalmazott besorolás szerint a következő három csoportot különböztethetünk meg:

- nyílt rendszer (az egész komposztálási folyamat nyílt téren megy végbe),
- zárt rendszer (a folyamat zárt térben folyik),
- részben zárt rendszer (a folyamat egyrészét zárt térben végzik, más részét nyílt téren).

A nyílt rendszerű technológiák az anyag-előkészítés alapján újabb két csoportba sorolhatók:

- anyag-előkészítés nélküli,
- anyag-előkészítést alkalmazó eljárások.

A zárt rendszerek további három csoportra oszthatók az anyag-érlelés során történő mozgást figyelembe véve:

- statikus,
- átmeneti,
- dinamikus eljárások.

A következőkben azokat az üzemtípusokat mutatjuk be, amelyek:

- többfajta hulladék pl. szemét és szennyvíziszap együttes komposztálását valósítják meg,
- a különböző környezetvédelmi követelmények alapján korszerűnek minősülnek,
- az üzemtípus jellegétől, bonyolultsági fokától függően hazai adaptálásra és bevezetésre javasolhatók.

Nyílt rendszerű prizmás komposztálás

Az egész eljárás nyílt téren megy végbe, a keverést, prizmázást markolóval végzik, a prizmák érleléséhez vagy markolót, vagy erőgépre szerelt forgató adaptert, vagy önjáró forgató berendezést alkalmaznak .

Kisebb mennyiségű komposzt előállítás nem igény különleges gépsort. Ez esetenként olyan telepen, amelyik rendelkezik szerves trágyaszóróval, és az azt kiszolgáló markolóval, ennek a két gépnek az egyidejű működtetésével minden különösebb beruházás nélkül megoldható.

Nagyobb mennyiség esetén az erőgéphez kapcsolt adaptert, vagy önjáró keverő-levegőztető gépet alkalmaznak.

Az eljárást egyes esetekben kombinálják perforált csöves alsó levegőztetéssel is.

2.6.3.2.1 MUT-Dano eljárás

Európában a legelterjedtebb eljárás a MUT-Dani féle, un. bio-stabilizátoros eljárás lényege, hogy az érlelés egy nagy (kb. 3,5 m átmérőjű, levegőztetett, enyhe lejtéssel elhelyezett, lassan forgó acélhengerben megy végbe. A szeméthez szennyvíziszapot adagolnak, a víztartalomtól függően 1:3-1:5 arányban. Az aprítatlan hulladék-anyag folyamatosan, lassan mozog előre. Az átfutás ideje a bio-stabilizátorban három-hét

nap, közben ventilátorral a lebomlás elősegítésére a belső térbe friss levegőt vezetnek be. A lebomlás során keletkező gázzal és vízgőzzel telített elhasznált levegőt a szaghatás megelőzésére bioszűrőn keresztül bocsátják ki a rendszerből. Forgás közben az anyag keveredik és kisebb-nagyobb aprító hatás is létrejön.

A fenti stabilizátorból kikerülő előérlelt anyagot rostálják, aprítják, és szabad téren prizmákban tovább érlelik / 28. ábra /.

Az eljárás során a fémhulladék mágneses leválasztással, az üveghulladék rostálás után, mint másodnyersanyag visszanyerhető, a maradék nem komposztálható anyaghányad egyéb komposztálási eljárásokkal összehasonlítva – kevesebb.

A MUT-DANO üzemben általában hulladékégető nincs, de adott esetben a csatlakoztatás megoldható. Ilyen komposztüzem működik Dániában, Svédországban is. Az üzem viszonylag kis területet igényel, környezetvédelmi szempontból lakott területen is telepíthető.

2.6.3.2.2. *Willisch-eljárás*

A Willisch-eljárás lényege, hogy szilárd hulladékot és a íztelenített szennyvíziszapot kaszkád-malomban együtt aprítják, az aprított és összekevert anyagot egyidejűleg rostálják. / 29. ábra /

Az őrlővel együtt forgó szitán át nem hulló nagyobb darabokból mágnessel a vasat kiválasztják, a maradékot deponálják. A szitán áthulló anyagot egy forgó dobszitába juttatják, majd a 15-40 mm közötti anyaghányadot – mágneses vasleválasztás után – az őrlőbe visszaforgatják. A dobszitán áthulló anyagból légosztályozással a maradék üveget, kerámiát, fémet leválasztják és a 15 mm-nél kisebb anyagot speciális nyílt érlelő kamrákba töltik.

29. ábra: Willisch eljárás [11]

2.6.3.2.3 *BAV alagútreaktor*

A BAV alagútreaktort a Mannesmann cég dolgozta ki. Aprított, előosztályozott szilárd szerves hulladék iszappal közös komposztálásra használható. A reaktorban az anyag mozgását hidraulikus előtoló lap biztosítja, a levegőellátás a reaktor fenékrészen egyenletesen elosztottan történik. A reaktor nem nélkülözheti az előérlelt nyerskomposzt prizmás utóérlelését. / 30. ábra/

30. ábra: BAV-rendszerű alagútreaktor (Mannesman-Anlagenbau AG) [11]

1-iszapvíztelenítés, 2-iszapszivattyú, 3-iszaptartály, 4- és 5-adalékanyag-tárolók, 6-szalagmérleg, 7-keverő, 8-szállítóheveder, 9-kaparóláncos anyagelosztó, 10-alagútreaktor, 11-levegőellátó ventilátor, 12-szennyezett levegő elszívó ventilátor, 13-utóérlelés prizmákban; A-adagolókamra, B-hidraulikus tolólap, C-levegőbetáplálás, D-levegőelszívás, E-mérőszondák (hőmérséklet, nedvesség, oxigén)

2.6.3.3 A komposztálás gyakorlati alkalmazási szempontjai:

A komposztálási technológiák alkalmazhatóságát döntően három tényező befolyásolja:

- egyrészt a megfelelő hulladék-összetétel és minőség,
- a kapott komposzt minősége (nehézfémtartalom, szerves mikro-szennyezők),
- másrészt pedig az, hogy a kapott komposzt-termék értékesítése – piaca biztosított legyen.

A komposztálás – a felhasznált alapanyagokat illetően – három irányba tolódott el:

- települési szennyvíziszapok,
- mezőgazdasági hulladékok,
- kertészeti, városüzemeltetési (parkfenntartási) hulladékartalmatlanítás területére.

A szilárd települési hulladékok ártalmatlanítására ma már csak speciális esetekben (pl. együttes komposztálás esetén, melegéögvi településeken) kerül sor.

Hazánkban a komposztálás főként a szennyvíztelepeken keletkező iszapok önálló telephelyen vagy a szilárd hulladék lerakóhelyeken történő kezelésére alkalmazott eljárás.

Az előzőekben ismertetett eljárásváltozatok közül hazánkban főleg a nyílt téri, elő és utóérleléssel összekapcsolt technológia alkalmazott, ahol adalékként szalmát, fűrészport, aprított fahulladékot használnak.

Ugyanakkor a nyílt téri elhelyezés során figyelembe kell venni a szükséges telepítési távolságot (anaerob folyamatok bűzkibocsátása miatt), illetve belső telepítés esetén gondoskodni kell zárt térről a teremlevegő megfelelő biofilteres kezelése mellett.

A komposztálás célszerűen alkalmazható kapacitástartománya részben műszaki, részben pedig a körülmények végtermék-értékesítési okok miatt behatárolt. A gazdasági vonatkozásokat is figyelembe véve nem célszerű az 50-70 t/nap kapacitásnál kisebb komposztüzem létesítése. A komposzttermék értékesítésének fokozott nehézségei miatt viszont nem célszerű 250-300 t/nap kapacitás feletti létesítmények telepítése. Néhány kivételes esettől eltekintve az eddigi külföldi tapasztalatok is ezt igazolják. A komposztálás hazai telepítése kisebb települések, illetve település-együttesek esetében akkor jöhet szóba ha a termék értékesítése részletes piackutatás és mező- erdőgazdasági felhasználói egyeztetés után megoldható. Napjainkban jelentős komposztelhelyezési lehetőségként számolhatunk a hulladéklerakók és bányaterületek rekultivációja és az energianövénytermesztés tápanyagutánpótlása területén.

Komposztüzem létesítésekor az alábbi létesítmény-egységeket kell kialakítani, figyelembe véve a például a szennyvíztisztítótelep meglévő adottságait, kapcsolódását:

- odavezető közutak a bejövő és kimen szállításra, kerítés kapuval,
- mérleg,
- belső üzemi tárolóbunker, tárolóhely, ürítőhely,
- szükség szerint a hulladékot előkezelő és előkészítő gépek, berendezések, hulladékot feldolgozó gépek, berendezések,
- szükség szerint a kész komposztot utókezelő-gépek, berendezések, kisegítő üzemek (karbantartás, javítás, raktár),
- kiszolgáló létesítmények (energia, szennyvíz), adminisztratív és szociális létesítmények,
- zöld területek, fásítás, stb.,
- maradék elhelyezése.

A veszélyes hulladéknak minősülő anyagok (pl. olajos talaj) komposztálás során figyelembe kell venni:

- a csapadékvíz elvezetését,
- az esetleges szivárgó-víz kezelését,
- az érlelő-tér talajának megfelelő védelmét.

A telephely nagyságát több tényező együttesen határozza meg (kapacitás, a maradék utókezelési módja, stb.).

2.7 Energiaipari technológiák

Az energiaipar különös szerepet tölt be az emberiség és a környezete kapcsolatában. A „technológiai ember” a „primitív emberhez” képest több mint százszor annyi energiát használ fel, ezzel arányosan terhelve, károsítva környezetét. Az energiaipar a természeti erőforrásokkal való takarékos és ésszerű gazdálkodással jelentősen hozzájárulhat a fenntartható fejlődés megvalósításához. Ellenkező esetben akadályozhatja is azt.

Ma egyértelmű követelmény a természeti erőforrások kíméletes használata mellett a megújuló energiahordozók egyre nagyobb arányú elterjesztése.

Anélkül, hogy részletesen belemennénk az energetikai kérdések tárgyalásába – amely egyébként is egy másik „az energia és környezet” c. szaktárgy témaköre – a 31. ábrán szemléltetjük a primer energiaforrások csoportosítását, a 32. ábrán pedig bemutatjuk a primer energiahordozók átalakítási formáit.

Látható, hogy ezekhez számos technológia kapcsolható, amely tulajdonképpen még kiegészül a megújuló energiaforrások átalakítási (alkalmazási) technológiáival csakúgy, mint az elektromos áram termelés sajátos folyamatával és berendezéseivel.

Ezeket a részleteket mellőzve itt a szilárd tüzelőanyagok átalakításának témaköréből a kokszyártás, a folyékony tüzelőanyagok átalakításával kapcsolatban a kőolajlepirás, a gáztüzelő-anyagok csoportjából pedig a biogáztermelés technológiáját ismertetjük.

31. ábra: Primer energiaforrások [8]

32. ábra: Primer energiahordozók átalakítás [8]

2.7.1 Kokszgyártás

A kokszolásra szánt feketekőszenekeket előzőleg különböző fizikai és kémiai vizsgálatokban vetik alá, amelyeknek az a célja, hogy a belőlük előállítható termékek (koksz, gáz, kátrány) tüzeléstechnikai felhasználhatóságát és a kinyerésük mértékét értékelni lehessen.

Kokszolhatóság szempontjából legfontosabb a feketekőszeneke hevítés alatti viselkedésének, vagy a kokszképződés folyamatának vizsgálata.

A feketekőszén szerkezeti átalakulása már 250 °C-on megkezdődik, 300 °C-on megindul a kátrányképződés, majd 350 °C felett már nem képződik több kátrány. A lágyulási állapot 350-400 °C között jön létre, de ezt befolyásolja az illanó alkatrészek mennyisége és a hevítési sebessége is. Gyors hevítéssel 2 * (°C/min) minden feketekőszén meglágyult állapotba hozható, de az illó alkatrészekben szegény fajták nem adnak szilárd összesült kokszot. Vaskohászati célra pl. olyan kis hamu- és kéntartalmú sülőszén alkalmas, amely 18-36 % illóanyagtartalom mellett kokszoláskor felfűvődik, megolvad, majd összesül, porózussá lesz.

A gazdaságos termelés és a jó minőségű koksz előállításának feltétele a lepárlandó szénfajták gondos vizsgálati eredményei birtokában a kiválasztás, majd a megfelelő előkészítés.

A kokszolóműbe érkező szén általában darabos. Az előkészítés először a darabos szeneke előzetes összekeverése és 8 mm-nél kisebb szemnagyságúra történő aprításából áll.

A beérkező szeneke előkészítése során végzett őrlés egyik járulékos előnye, hogy a kigázosításra kerülő, eltérő tulajdonságú szeneke jól összekeverednek és a koksz egyenletes minőségű lesz. A hazai feketekőszeneke az előkészítés során több fázisú hamucsökkentési folyamaton mennek keresztül. A 40-45 % meddőt tartalmazó Pécs-Komló környéki (csak ez az előfordulásunk, amely kokszolásra alkalmas tulajdonságú feketekőszeneke ad) nyert szeneke a nemzetközi szabvány szerint 10 % hamutartalmúra kell mosni, flotálni, stb.

Az így előkészített szénekegy a lepárlókemencébe jut, amelynek egyik – Komppers-típusú – elterjedt változatát a 33. ábrán mutatjuk be.

A kemence szerkezetével részletesen nem foglalkozunk, itt csupán a kokszolás technológiai – azon belül főképpen a lepárlás hőtani és kémiai – folyamatát ismertetjük. A műveletsorról a 34. ábra tájékoztat.

33. ábra: Koppers-féle köráramos kokszológemence

34. ábra: Kokszolómű elvi elrendezése

1-lepárlandó szénféslek, 2-nyerszénbunker, 3-adagolók, 4-szállítószalag,
5-keverőcsiga, 6-szénőrlő, 7-serleges felvonó, 8-szénbunker, 9-töltőkocsi,
10-kokszológemence, 11-kokszoltótorony, 12-oltókocsi, 13-gázvezetés tisztításhoz
és tároláshoz, 14-koksz osztályozása és kiszállítása

A koksizálásra előkészített feketeköszén-elegyet a széntoronyból ledobószalag viszi a töltőbunker fölé. A bunker ürítőszerkezete fűthető, hogy a nedves feketeköszén tömeg összefagyását megakadályozzák. A bunkerben 1-2 napi szénmennyiség tárolható. Innen az anyagot töltőkocsi juttatja a koksizálókemence kamráiba. A töltőkocsi befogadóképessége megegyezik egy kamra ürtartalmával. Adagoláskor a kocsi alján elhelyezett nyílásokon át a köszén a kamrába zuhan. Betöltés után a minden oldalról zárt térben lejátszódik a lepárlás folyamata, amely a következő részfolyamatokból tevődik össze:

- 100-120 °C-on a szén nedvességtartalma távozik el;
- 250-300 °C-on a bertinizálás hőmérsékletén, vízgőz, szén-dioxid és kén-hidrogén távozik, ami már a szén szerkezetében kezdődő változások következménye;
- 320-330 °C-on megkezdődik az éghető gázok, főleg a metán fejlődése;
- 500-600 °C-on a köszén szerves anyagai egyre erősebb mértékben desztillálódnak, és egyidejűleg a közönséges hőmérsékleten gáz alakú és cseppfolyós szénhidrogének képződése erőteljessé válik. Ezt a köszén eredeti C-C-, C-O-, C-N- kötéseinek megbomlása okozza. A lepárlási gázokban a szén-dioxid-tartalom csökken, a metán-, szén-monoxid- és hidrogéntartalom növekszik. A hőbomlási reakciók termékeként a agáz olefin-szénhidrogéneket is tartalmaz, és a bomlás termékeiben megtalálhatók már a viszonylag hőálló fenolok is;
- 800 °C felett a hidrogénfejlődés lép előtérbe és a képződő koks zsugorodni kezd. A metán a $\text{CH}_4 = \text{C} + 2 \text{H}_2$ reakció szerint bomlani kezd, és mennyisége a lepárlási gázokban fokozatosan csökken. A korábban képződött alifás jellegű kátránytermékek és nafténszénhidrogének hidrogénfejlődés közben aromás vegyületekké alakulnak át; a fenolhomológok is aromás szénhidrogénekké redukálódnak. Az egyszerű benzolgyűrűs vegyületekből policiklikus vegyületek képződnek. A hőmérséklet növekedésével csökken a keletkező kátrány paraffin-naftén- és fenoltartalma, növekszik az aromás vegyületek és a szurok mennyisége.
- 1100-1200 °C-on a szén nitrogéntartalmából ammónia és kevés hidrogénianid is képződik. Végbemegy a szén nagy hőmérsékletű lepárlása, amikor is a szén összes illóanyag-tartalma a lepárlási gázokkal együtt eltávozik, és a visszamaradó

- kokszt a hamu alkotórészekben, valamint néhány tized százalék hidrogénen, nitrogénen és kénen kívül tiszta karbonból áll.

A lepárlási folyamat gáz-, ill. gőzalakban keletkező termékei egy vagy két felszálló csövön és egy vagy két gyűjtőedényen (konstrukció szerint változik) keresztül jutnak el a tisztítóba.

A lepárlókamrák alatt találhatók a regenerátorok, amelyek a fűtőcsatornákból kilépő, de még jelentékeny hőtartalmú füstgázok (égéstermékek) fizikai melegének részbeni hasznosításával az égési levegő és a fűtőgáz esetleges előmelegítését teszik lehetővé.

Az egyes lepárlókamrákba a széntöltet fokozatosan melegszik fel a lepárlási hőmérsékletre és így fokozatosan távoznak a bomlás gáz alakú termékei és közben alakul a kokszt is. A lepárlás során a hő a két oldalról fűtött nagy hőmérsékletű kamrafalról vezetéssel adódik át a szénnek. A hő hatására a levegőtől elzárt szénelegy először kiszárad, adódik át a szénnek. A hő hatására a levegőtől elzárt szénelegy először kiszárad, majd 350 °C körüli hőmérsékleten megindul a gáz fejlődése és a bitumen megolvadása. Az utóbbi gázleadás közben elbomlik és koksztvázat képez. Az idő előrehaladásával a képlékeny réteg a kamra közepe felé húzódik, a már kialakult koksztaréteg pedig zsugorodik.

A koksztképződés befejeződése után a nagy hőmérsékletű kész koksztot a kamrából kitológéppel távolítják el. Ez a berendezés a kemenceblokk gépoldalán, a kamrák ajtaja előtt futó villamos hajtású kocsin, amelyben a kamrák hosszúságát által meghatározott, általában kb. 15 m hosszú, a kamrák hosszirányában géppel mozgatható rúd van.

S berendezés célja kettős: elsimítja a kamrába töltött friss szenet az ajtó felső részén erre a célra kiképzett nyíláson át, illetve kitolja – a kamra koksztoldali ajtajának levétele után – az oltókocsiba a kész koksztot. Az oltókocsiba került koksztot vízzel – nedves eljárás – vagy inert gázzal – száraz eljárás – hűtik le. Nedves oltás esetén a koksztal megrakott oltókocsit az oltótorony alá vontatják és ott zúdítják rá sokszálas csőrendszerből a szükséges mennyiségű vizet. Száraz oltáskor az izzó koksztot tűzálló falazattal bélelt tartályba engedik és semleges gáz, általában nitrogént áramoltatnak át rajta. A hűtőgáz kb. 200 °C hőmérséklettel érkezik a tartályhoz és mintegy 800 °C hőmérséklettel távozik. A hűtőgázok hőtartalmát hőhasznosító kazánokban gőztermelésre fordítják. Anélkül, hogy részletesen tárgyalnánk, itt

jegyezzük meg, hogy a feketekőszén nagy hőmérsékletű lepárlásának kettős célja lehet. Egyik a már ismertett metallurgiai célokra alkalmas koksztermelés (itt másodlagos termék a gáz), másik a fűtőgázgyártás (itt másodlagos termék a fűtési célú koksz). Mindkettő ugyanazokkal az eljárásokkal és berendezésekkel valósítható meg. A rövidlángú, sülő, lepárlási gázokban szegény feketekőszénből főtermék gyanánt kohó- és öntödei kokszot, melléktermékként kamragázt és egyéb lepárlási terméket nyernek. A 35. ábrán látható összeállítás azt szemlélteti, hogy a szénlepárlás során milyen – iparilag hasznosítható – fő- és melléktermékek nyerhetők.

Itt jegyezzük meg, hogy a széntermelés és ezzel összefüggésben a szének termikus lepárlásával, azaz kigázosításával előállított koksz- és gáztermelés az utóbbi 2 évtizedben válságos helyzetbe került sok országban. A kőolaj és a földgáz az ipari fogyasztókon kívül a lakosság ellátásában is egyre nagyobb szerephez jut. Ezért olyan új szénlepárlási technológiákat kutatnak, hogy a termék a szénhidrogénnel szemben is versenyképes legyen.

2.7.2 Kőolaj feldolgozás

A kitermelt földgáztartalmú olajat vezetékhálózattal összegyűjtik a kutaktól. A két fázist egymástól szeparátorokban elválasztják, majd stabilizálják, vagyis a még bennmaradt oldott gázmaradványt teljesen eltávolítják. A nyersgazolin vagy gázbenzin kiválása a vezetékekben dugulást idézhet elő, ezért ezt már a termelés helyén elválasztják.

A leválasztás lehetséges módszerei:

- kompresszió után expandálással,
- abszorpciós (elnyeletéses) eljárással,
- mosóolaj segítségével vagy,
- adszorpciós eljárással (aktív szén felületén megkötéssel).

A 36. ábrán egy függőleges olajszeparátort mutatunk be, ahol a gáz-olaj-hab az eredeti nyomás hatására és a tangenciális bevezetés folytán pörgő mozgást végez. Az olaj a köpenynek való ütközés után a leválasztó henger alján gyűlik össze. A gáz által elragadott finom részeket terelőkúp, valamint a fölötte levő fémforgács tartja vissza.

A kőolajat – a gáz alakú szénhidrogének leválasztása után – nagy teljesítményű atmoszferikus és vákuumleparló tornyokban dolgozzák fel.

A gazolinból állítják elő a stabilis gázokat és a propán-butánból álló cseppfolyóst gázt.

A kőolaj lepárlása

Az oldott gázoktól és gázolintól mentes, stabilizált kőolajat nyersolajnak is szokás nevezni.

A nyersolaj a feldolgozó üzemekbe tartályhajón, vasúti tartálykocsikban vagy csővezetéken át jut el, ahol a finomító tárolótartályaiba kerül.

A kőolajfinomítás előtt szükséges a víz és az oldott sók eltávolítása annak érdekében, hogy ezek jelenléte ne rontsa a lepárlási folyamatot.

A kőolajat hagyományos módon szakaszos lepárlással (frakcionált desztillációval) dolgozzák fel, szakaszos vagy folyamatos üzemmél.

Az olajpárlatok szétválasztásának elvi rajzát a 37. ábrán mutatjuk be.

37. ábra: Olajpárlatok szétválasztásának elvi rajza [8]

Az ábrán látható módon, a nyersolaj a hőcserélőkön áthaladva előmelegített állapotban érkezik az olajfűtésű csőkemencébe. Ennek munkaterében a nyílt láng sugárzási és áramlási hőcserefolyamata révén a csőkiógyórendszerben áramló nyersolaj 320-350 °C-ra melegszik fel. Innen az atmoszferikus lepárlótorony alsó részébe vezetik, ahol a könnyen illanó alkatrészek kiválnak és felfelé emelkednek. A cseppfolyós és gázfázis közötti egyensúly kialakulása és az olajgőzök cseppfolyósodása a toronyban levő tányérrendszeren történik. Mivel a hőmérséklet –

a toronyban felfelé haladva – az egymást követő tányérokön állandóan csökken, a gőz nehezebb elegyrészei cseppfolyósodnak, míg az illórészek tovább jutnak. Így a legillékonyabb párlat a benzin, a torony tetején fog eltávozni. Alatta lefelé, sorban cseppfolyósodik a nehézbenzin, a petróleum, a gázolaj. A lepárlótorony tetőhőmérsékletét a benzin részbeni visszatöltése által szabályozzák.

Az atmoszferikus lepárlás maradéka sűrű, fekete színű folyadék (pakura). Ezt egy sorba kapcsolt vákuumos lepárlótoronyban tovább párolják. Az atmoszferikus torony aljánál egy szivattyú még melegen átnyomja a pakurát egy csökemencén keresztül a vákuumtoronyba, ahol bomlása kezdetéig, vagyis 380-450 °C-ig melegszik fel. A szükséges vákuumot gőzsugárszivattyú biztosítja. A gázolajat még könnyű- és nehézgázolajra bontják szét. Utóbbit a nyomás és a hőmérséklet növelésével, katalizátor segítségével újból desztillálják. Ekkor kapják a krakkbenzint, krackgázolajat, krakkfűtőolajat és a maradékot. A krakkolás célja tehát az, hogy minél több könnyű alkatrész váljon le.

A kőolaj-feldolgozás termékeit összefoglalóan a 38. ábrán mutatjuk be.

Mielőtt a kőolajlepárlás termékeinek jellemzésére rátérnénk, meg kell jegyezni, hogy napjainkban a hazai kőolajlepárlás is jelentős korszerűsítésen megy át. Ennek célja egyfelől a kőolajimport csökkentése, másfelől a fehérárú-gyártás részarányának növelése, a finomítás hatásfokának és gazdaságosságának javítása.

2.7.3 Biogáz-előállítás

A biogáz-előállítás egy olyan biokémiai eljárás, ahol a lebomló szerves anyagok alkotóinak feldolgozása élő mikroorganizmusok segítségével történik.

Hagyományosan – és jelenleg is nagyobb részt – a biogázt hulladék ártalmatlanítása során nyerék/nyerik. Tekintettel azonban arra, hogy az Európa Unióhoz való csatlakozással összefüggésben a termőföldalap 10-15 %-ának vagy energianövény termesztésre való hasznosításával számolva újabb lehetőségek nyílnak a biogázgyártásra is használható bio termesztése.

Tovább erősíti a biogáz gyártás pozícióját, hogy az új Hulladékgazdálkodási törvény (XVIII/2000. trv) értelmében a szilárd hulladéktárolóba kerülő hulladék lebomló szervesanyag tartalmát programozottan és drasztikusan mérsékelni kell (2014-re 25 %-ra).

2.7.3.1 *A biogáz képződés alapelve*

A biogáz képződés körülményeit az anaerob (oxigénmentes) lebomlás jellemzi, az eljárás számára kedvez, elsősorban közepes (30...37,5 °C) hőmérséklet-tartományban. Hasonló anaerob lebomlás termofil mikroorganizmusokkal is végbemegy, mégpedig gyorsabban, mint mezofil tenyésztettel. Azonban az anaerob bomlás nem exoterm, hanem endoterm folyamat, ezért a lebontandó anyagtömeg melegítésére van szükség, amelynek gazdaságossági hatásai miatt a mezofil lebontás előnyösebb.

A hulladékok szervesanyaga főleg növényi anyag, kémiaiilag cellulóz, különböző hemicellulózok, cellulózszármazékok, összetett és egyszerű cukrok, amelyeket összefoglalóan szénhidrátoknak nevezünk. A növényi eredetű anyagokban kisebb, az állati eredetű anyagokban nagyobb arányban vannak jelen a fehérjék és peptidek, továbbá a zsírok és olajok. Ezekhez képest jelentéktelen mennyiségű bonyolultabb összetételű vegyületek is jelen vannak a hulladékokban (pl. vitaminok, hormonok, enzimek) és természetesen a fő alkotórészek lebomlásából származó egyszerű szerves vegyületek.

Tehát a biogáz-előállítás szempontjából a legfontosabb három fő vegyületcsoport: a szénhidrátok, fehérjék és zsírok. Az említett vegyületek teljes anaerob erjedési folyamatának biokémiája és mikrobiológiája még nem teljesen tisztázott. Az egyszerűsített bomlási ciklust a 39. ábra szemlélteti.

39. ábra: A biogáz-képződés folyamata [11]

A biogáz-képződés teljes folyamata lapvetően két szakaszra osztható:

- az első egy fermentációs biokémiai folyamat (savas erjedés), amely nagy molekulájú szerves anyagok lebontását, feltárását jelenti. A lebontást savképző baktériumok és gombák (tejsav, propionsav és vajsavbaktériumok) végzik,
- a második szakaszban további baktériumcsoportok az egyszerűbb molekulákat építik le. Így ezek a baktériumok a szerves anyagokat oldható zsírsavakra, alkoholokra, szén-dioxidra, hidrogénre, hidrogén-szulfidra baktériumok vesznek részt.

A folyamat végeredménye a főleg metánból és szén-dioxidból álló, energetikai célokra hasznosítható biogáz.

A biogáz-képződést befolyásoló tényezők

Tápanyag: a mikroszervezetek számára felvehető, megbontható szerves anyag, amely az életfunkciókhoz szükséges energiamennyiséget biztosítani tudja, lényegében a bontandó hulladék.

A tápanyagellátásra nagyon sokféle szerves anyag alkalmas. A biogáz termelés szempontjából az a lényeges, hogy a fermentorba kerülő keverék állandó összetételű legyen, ez a biztosítéka a kiegyensúlyozott mikrobiológiai tevékenységnek.

Lényeges a tápanyag megfelelő szén-nitrogén aránya. Ismert tény, hogy a sejtfehérjék felépítéséhez nitrogénre van szükség. Ha kicsi a nitrogéntartalom, akkor nem lehet nagyobb szénmennyiséget feldolgozni, ha túl nagy, akkor az ammónia felhalmozódást okoz. Ez utóbbi különösen a metánképződést akadályozza. A kívánt értékre állítás (3:1) legegyszerűbb módja a különböző hulladékok keverése.

Hasonlóan lényeges a szén-foszfor arány, amelynek optimális aránya 150:1.

Egyéb tápelemek, mint például a kén, a kalcium a magnézium, a kálium, a cink, a kobalt nem okoznak problémát, mivel a szükséges mennyiség minden komposztálásra szánt anyagban jelen van.

Kémhatás: a bontandó anyag kémiai alkalmasságát jellemzi, amely a hidrogénion-koncentráció negatív logaritmusával értelmezett. A fermentatív és metanogén szervezetek a semleges, pH = 7 körüli értéken fejtik ki hatásukat a legkedvezőbbben. A gyakorlat azt mutatja, hogy a degradációs folyamatok során felhalmozódó köztitermékek (szabad savak) hatására a pH-érték savas irányba tolódik (pH = 4...5), ennek hatására a fermentatív szervezetek működése teljesen lelassul.

Ha ezt a elsavanyodási folyamatot időben észlelik, savfogyasztó anyagokkal (mésztej, szódaoldat) az egyensúly helyreállítható.

A mérgező anyagok: a mikrobák aktivitását csökkentik, szélsőséges esetben pusztulásukat okozzák. A metánképződési folyamatokban szerepet játszó szervezetekről a szakirodalom azt állítja, hogy nagyon érzékenyek a sejtmérgekre, de rövid ideig elviselik azokat, újra aktiválódnak.

Nedvesség (víz): a mikroszervezetek anyagcseréjéhez szükséges és ez a biokémiai folyamatok közege is. Ezért a tápanyag nedvességtartalma is fontos tényező. A mikroorganizmusok tevékenységéhez szükséges nedvesség meglehetősen tág határok között mozog. Erjesztési kísérletek mutatják, hogy 0,1 %-tól 60 %-ig nőhet a szárazanyag-tartalom. A technológiát a gazdaságosságra is figyelve alakítják ki. Nedves-, félszáraz és szárazeljárások ismertek. Ezek közül legelterjedtebb a nedveseljárás.

A hőmérséklet: egy adott mikroorganizmus (faj) élettevékenységéhez szükséges abiotikus környezeti tényező. A biogáz előállítása szempontjából pedig a legfontosabb rendezőfaktor. Ismeretes a mezofil (optimális hőmérséklet: 30-35 °C) és a termofil (optimális hőmérséklet: 50-65 °C) eljárás. Ez utóbbi esetén a folyamat gyorsabb és 10...20 %-kal termelékenyebben zajlik le ugyanolyan szerves anyag lebontása esetén. Ennek viszont az az ára, hogy műszakilag bonyolultabb megoldásokat kell alkalmazni, mivel a termofil mikroorganizmusok érzékenyebbek a külső körülményekre.

A biogáz energiaértékét a tiszta metán részaránya határozza meg, amely az egyes eljárások és a feldolgozott hulladékok függvényében 50-70 % között mozog.

A zárt rendszerű üzemi biogáz termelő berendezésekben a feldolgozott anyagféleség függvényében 1 kg szerves anyagból 0,25-0,5 m³ hasznosítható biogáz nyerhető.

A biogáz fűtőértéke 21-25 MJ/m³ érték körül alakul.

A biogáz előállítás lényegében kétféle eljárással valósítható meg:

- biogáz előállítás adott mesterséges reaktorban,
- biogáz kinyerés szeméttelpeken természetes reaktorokban.

3.7.3.2 Biogáz előállítás reaktorokban

A biogáz-előállítás technológiájának műszaki és gazdasági szempontból történő optimalizálására színvonalas műveleti kutatások irányulnak.

Ezek a vizsgálatok elsősorban a felhasználandó nyersanyagok összetételére vonatkoznak, főképpen a technológiára, a kitermelésre gyakorolt hatásuk miatt. A technológiai változatok és az üzemi megoldások számosak.

A technológiák főbb lépései

Alapanyag tárolás-készletezés

Az alapanyag-tárolás műszaki megoldásait a rendelkezésre álló hulladék-anyag jellemzői (nedvességtartalom, bomlékonyság, stb.) határozzák meg. Döntő fontosságú már az első lépésnél is és a teljes technológiai sor folyamán a környezetvédelmi előírások figyelembevétele, betartása.

Anyag-előkészítés

Az anyag-előkészítés szintén az anyag jellemzőihez szorosan igazodó műveletsor. Ebbe a fogalomkörbe soroljuk a tisztítást, fáziselválasztást, aprítást, szuszpendálást, homogenizálást, kondicionálást és az összetétel beállítását.

A tisztítás célja mindazoknak a zavaró vagy káros anyagoknak a kiválasztása, elkülönítése, amelyek biológiai és műszaki szempontból zavaróak, így végső fokon e lépés a szervesanyag-hányad növelését célozza.

A fáziselválasztás a víztartalom csökkentését, a szervesanyag-tartalom növelését jelenti. A tisztítás és fáziselválasztás eszközei: a szűrőrácsok, rosták, homokfogók, üleptők, ívszita, centrifuga, mágneses vaskiválasztó.

Az aprítás művelete egyaránt biológiai és műszaki célú. A mikroszervezetek számára előnyös, ha a lebontásra nagyobb felület áll rendelkezésre. Ezzel elérhető az egyidejű, nagy intenzitású lebontás. Az anyagmozgatást is egyszerűsíti az aprítás.

A homogén anyagösszetétel mikrobiológiai oldaláról nézve elősegíti az állandó mikrobapopuláció kialakulását, fennmaradását és azok hatékony degradációs tevékenységét. A homogenitás elsősorban az egyenletes és állandó nedvességtartalmat és kémiai összetételt jelenti. A homogenitás eszközei általában a keverők, csigaszivattyúk és keringtető szivattyúk. A megfelelő nedvességtartalom beállítható eltérő nedvességtartalmú anyagok keverésével, vízelvonással vagy vízzel való hígításával.

Az anyagösszetétel beállításához hozzá tartozik még a különböző hulladékok vagy segédanyagok hozzáadása, hogy a már kialakult és a kívánt szinten működő mikroorganizmus populáció igényének megfelelően működhessen.

Az alapanyag-kondicionálás az alapanyagnak megfelelő hőmérséklet beállítását jelenti. Ez történhet felmelegítéssel, esetleg hűtéssel. A felmelegítés megkönnyíti a patogén szervezetek elpusztítását, ill. a termofil anaerob mikroorganizmusok tevékenységét. Hűtést akkor alkalmaznak, ha a közepes (mezofil) hőmérséklet-tartományánál nagyobb hőmérsékletű alapanyag érkezik.

Erjesztés

Az előkészített hulladék-alapanyagot a megfelelő adagolóberendezéssel az erjesztő-tankba juttatják. Az adagolóberendezés iránti műszaki követelmények: üzembiztonság, az adagolás pontossága, alkalmas legyen különböző homogenitású alapanyag továbbítására, bizonyos mértékű keverési feladatot is ellásson, stb.

Az erjesztő-tankban játszódik le az eljárás biokémiai folyamata. A tanknak nagyon sok követelménynek kell megfelelnie. Ezek a következők:

- A megfelelő keverés.
- A gázkilépés és a maradékanyag-kiürítés minden szempontból hatékony megoldása.
- Gondoskodni kell a reaktor megfelelő hőmérsékleten tartásáról is, mivel ez a gázképződésre és az eljárás energiamérlegére egyaránt méretének, alakjának, szigetelésének és az erjesztendő anyag jellegének legjobban megfelelő fűtőrendszer kiválasztásával érhető el.
- A karbantartás egyszerűsége, a korrózióállóság üzemviteli szempontból fontos.

A technológiák osztályozása

Aszerint, hogy a fermentatív és a metános erjesztést külön-külön vagy együtt valósítják meg a reaktorokban megkülönböztetünk:

- egylépcsős,
- kétlépcsős eljárásokat.

Az a technológia üzem módját (folyamatos, szakaszos) csak a feldolgozandó hulladék szárazanyag-tartalmának függvényében lehet megválasztani (nedves: 0,5-1 % szárazanyag-tartalmú, szuszpenziós: 5-15 % szárazanyag-tartalmú és félszáraz: 15-24 % szárazanyag-tartalmú, valamint száraz: 25 %-nál nagyobb szárazanyag-tartalmú töltetekkel dolgozó reaktorok).

A szakaszos erjesztés általában félszáraz töltettel működik. A reaktort megtöltik ezzel az anyaggal, majd lezárják. A folyamat kb. 50 napig tart, ebből 10 nap körülire tehető az inkubációs, felfutási szakasz, a többi az aktív, gáztermelő szakasz. A gázképződés befejeződése után a reaktort kiürítik és újratöltik.

A szuszpenziós eljárás reaktorai gázbiztosan zárt edények. Gyakori rátöltés esetén működtethetők félfolyamatos és közel folyamatos üzem módban. Az anyag keverése lehet mechanikus, folyadék keringtetéses és gázátfúvatásos megoldású. A fűtést melegvíz-keringtetéssel vagy gőzbefúvatással oldják meg.

A nedves eljárás viszonylag új megoldás. Ebben az esetben a reaktor alsó részén lép be a tápfolyadék, ez lassan felfelé áramolva érintkezik az iszapággal, majd az erjedő iszappal együtt tovahalad, és végül a reaktor felső részén távozik. Az eljárás nagy előnye, hogy folyamatos üzemű, igen termelékeny, maga a reaktor egyszerű felépítésű.

Melléktermék-kezelés

A biogáz előállítás mellékterméke a kirohasztott iszap. Ennek jellege, mennyisége és minősége az adott technológiai eljárástól függ. A maradékanyag utókezelése általában átlevégőztetésből vagy szellőztetésből áll, továbbá stabilizálható, utóérlelhető (komposztálással).

A reaktorból kikerülő anyag hasznosítható eredeti állapotban takarmánnyként, talajjavító szerves trágyaként is, vagy szárítva szemcsézve és csomagolva.

A háztartási hulladékok és szennyvíziszap kezelésére egy félszáraz termofil biogáz termelő technológiát dolgozott ki az amerikai Dynatech Corporation. Ennek a technológiai vázlatát a 40. ábrán látható.

40. ábra: Dynatech Corporation (USA) háztartási szemétből biogáz fejlesztésére kidolgozott technológiája [11]

1-bunker, 2-aprító, 3-szennyvíziszap-akna, 4-mágneses vaskiválasztó, 5-örlő, 6-keverőcsiga, 7-hőcserélő, 8-reaktor, 9-kondenzor, 10-abszorber, 11-kompresszor, 12-iszap-kondicionáló, 13-iszapsűrítő, 14-iszap-víztelenítő, 15-iszapleány-tároló, 16-recirkuláló víz vezetéke

3.7.3.3 Biogáz-termelés hulladéklerakókban

A biogáz-előállítás különleges, újabban hazánkban is elterjedt területe a települési hulladék-lerakóhelyi biogáz termelés, a lerakott hulladékba telepített gázkivételi kutak segítségével / 41., 42. ábra /

A gázkutak két esetben is telepíthetők:

- Újonnan létesített lerakók esetén a lerakás során folyamatosan
- Meglévő lerakó esetén új gázkutak létesítésével.

A viszonylag kis beruházási és üzemeltetési költségekkel járó megoldás, a véglegesen lerakott szerves hulladékok hasznosításának egyetlen lehetséges módja.

Az eljárás feltétele a megfelelően szigetelt és takart, szigorú technológiával kialakított, rendezett lerakóhely megléte.

41. ábra: Biogázkút kialakítás [11]

42. ábra: Hulladék-lerakóhelyi biogáz-kinyerés technológiájának vázlata [11]

1-gázkutakból vezető gyűjtőcső, 2-víztelenítő, 3-lefáklyágó gázégő, 4-gázkazán speciális gázégőkkel, 5-gáznyomóvezeték, 6-nyomásszabályozás, 7-gázejtőcső, 8-takaróréteg, 9-lerakott hulladék.

A hasznosítható gázkihozatal a tapasztalatok szerint, a hulladék-összetétel függvényében évente min. 1,5-2 m³/t, átlagosan 3,5-4 m³/t nagyságúra becsülhető (20-25 éves üzemeltetés feltételezésével).

A kitermelt gáz optimálisan 55-60 % metánt és 40-45 % szén-dioxidot tartalmaz. A metán/szén-dioxid arány a hulladék összetételétől, tömörítésének fokától és a lerakóhely szigetelésétől függ.

Gyakran a levegő által felhígulva 4-6 % oxigént és 15-30 % nitrogént is tartalmazhat az említett két komponens rovására. Friss leraknál a gáz 4-6 % hidrogént tartalmazhat. A hulladék nedvességtartalma miatt mindig vízgőzzel telített. Ezt hasznosítás előtt kondenzálni kell és a kondenzátumot vissza kell juttatni a lerakóhelyre. A hulladék nyomelemeinek egyrésze is bekerül a kondenzátumba. A hulladékból nyert biogázban esetenként előfordulnak: kén-hidrogén és szerves vegyületek, főként szén-hidrogének.

A legegyszerűbb és leggyakoribb hasznosítás fűtési célokra történő elégetés, valamint villamos energia termelés hőenergia ellátással kapcsolatosan. Ez esetben elegendő a gáz víztartalmát kondenzálni, egyéb tisztítás általában nem szükséges. A villamos energiát gázmotorokban állítják elő (gázmotor, generátor és hűtő-egység). Teljesítményük általában 120-155 kW. Hatásfokuk kb. 33 %, azonban a motorok és a füstgázhűtő egység kihasználási fokától függően a lerakóhelyi gáz energiatartalmának mx. 55 %-a is hasznosítható (villamos energiára számítva). A minél jobb összhatásfok elérése érdekében törekedni kell a hulladék-hő lehetőleg teljes hasznosítására (épületek, kertészetek, természsárítók, stb.)

További hasznosítási lehetőséget jelent a gáz tisztítással és dúsítással földgáz minőségű terméké alakítása. Ekkor a szennyezőket leválasztják és a nem éghető alkotókat eltávolítják. A legtöbb gondot okozó kén-hidrogén és szén-hidrogének eltávolítására nedves gázmosást alkalmaznak, a metán és a CO₂ szétválasztására nyomás alatti vizes mosást, szerves abszorbensekkel való mosást, adszorpciós módszert vagy membrános eljárásokat használnak. Eddig elérhető volt 85-90 %-os metántartalom. Ez az egyik területe az eljárással kapcsolatos kutatási munkának.

A továbbfejlesztés másik területe a gázképződés mechanizmusának elemzése azért, hogy optimalizálják a folyamatot. Ennek keretében kutatják annak lehetőségét, hogyan lehetne a végbemenő mikrobiológiai folyamatokat úgy intenzifikálni (szerves

anyagok bomlásának felgyorsításával), hogy növekedjen a képződő gáz mennyisége, a gázképződési folyamat időintervallumának pontosabb beállíthatósága mellett.

3.7.3.4A biogáz előállítási folyamatban keletkező termékek hasznosítása

A biogáz energetikai felhasználása lehet:

- Közvetlenül elégetés (gáztisztítás nélkül vagy tisztítással) hőhasznosítással,
- Gázmotorok üzemeltetése, elektromos energia és hőenergia együttes hasznosítása.

A 43. ábrán a települések energiaellátásnak optimális kielégítését szemléltető logikai modellt mutatunk be.

A korszerű energiahatékonysági fejlesztések eredményeképpen a biogáz energetikai hatásfoka javult és számos nyugat-európai eredményről lehet ma már hírt kapni. A hazai alkalmazás kérdéseinek az energiatermelés gazdaságosságát:

- Adott hulladék más technológiával történő ártalmatlanítási költségeivel szemben;
- Az ökológiai elemzés teljes ciklusában lehet csak értékelni.

A kinyert biogáz és a maradékanyag hasznosítási lehetőségeit szemlélteti a 44. ábra.

44. ábra: A kinyert biogáz és a kiejert anyag hasznosításának lehetőségei [11]

3. KÖRNYEZETBARÁT (HULLADÉKSZEGÉNY) TECHNOLOGIÁK ÉS ELJÁRÁSOK

Az anyagi javak előállítása és felhasználása lényegében az anyag(alapanyag) és az energia (energiahordozó) átalakítását, más formában való megjelenését eredményezi. Gyakorlatilag lehetetlen, hogy a nyers- és alapanyagok, valamint azok átformálásához szükséges energia teljes egészében a termékben megjelenjék. Ennek oka lehet az, hogy a nyers- és alapanyagaink hasznosítandó alkotóján kívül más anyagokat, szennyezőket, meddőt, stb. tartalmaznak; az anyagátalakítást létrehozó kémiai reakció teljességgel nem játszódik le, stb. Ismeretes, hogy a hőenergia nem alakítható át teljes egészében munkává, ezért a hőveszteséggel – hulladékhővel – mindenképpen számolnunk kell.

Az emberiség által fogyasztott cikkek termelésének, valamint a gőzgép felfedése és a termelési folyamatba való beállítása óta hatványozottan növekszik. Mind az ipar, mind a fokozott termelésre ösztönzött mezőgazdaság által létrehozott hulladékanyagok mennyisége, és azok veszélyes volta is növekszik. A növekvő ipar kiszolgálásához szükséges, a mezőgazdaság gépesítése folytán ott feleslegessé váló emberek a városba költöztek. A felduzzadt lakosságú városok háztartási hulladéka az elmúlt évtized alatt többszörösére nőtt.

A hulladékoktól az azokat létrehozó ember igyekszik megszabadulni, azokat a környezetéből eltávolítva nagyrészt hulladéklerakókba hordja és/vagy a természet gondjára bízta. A gázhalmazállapotú hulladékot, a füstgázt, az ipar véggázait, stb. a légtérbe juttatja, a szennyvizet a folyókba, patakokba, vagy tavakba, a tengerbe vezeti, a szilárd hulladékot a lakó- vagy munkahelyétől kisebb-nagyobb távolságban lerakja.

Valójában a természet is létrehoz hulladékot. A tűzhányókból távozó gázok kén-dioxidot, a villámok nitrogén-oxidot juttatnak a légtérbe, az elhaló növényzet és állatok rothadása kén-hidrogén és egyéb illó, bűzös vegyület keletkezésével jár, de a természet felkészült ezek hatástalanítására, egyensúly jött létre a természet „hulladékainak” képződése és azok le- vagy elbomlása között. Ezt az egyensúlyt borítja fel az ember azzal, hogy viszonylag kis területen nagymennyiségű lassan, vagy egyáltalán le nem bomtható hulladékot juttat a természetbe.

Az 1960-as években vált közismertté, hogy a természet már képtelen arra, hogy az ember által létrehozott hulladékmennyiséget ártalmatlanná tegye. A kéntartalmú tüzelőanyagok elégetéséből képződő kén-dioxid és nitrogén-oxidokat tartalmazó füstgázok eredményezte savas esők tönkreteszik a növényzetet, az erdőket, elsavanyítják a kis tavakat, a folyókba juttatott szennyezés kiöli azok flóráját és faunáját, a gondatlanul lerakott szilárd hulladékból a csapadék mérgező, veszélyes anyagokat oldhat ki, amelyek a talajvizet teszik felhasználhatatlanná.

Ezt a természeti károsodást az ember okozta és okozza, az ő feladata, hogy azt csökkentse, megszüntesse.

Központi kérdéssé vált tehát a környezetet terhelő hulladékok mennyiségének a csökkentése, amely elsősorban hulladékszegény (vagy mentes) technológiák elterjesztésével, a működő technológiák emissziójának csökkentésével (tisztább termelés) érhető el. Ugyanakkor megoldandó feladat a felgyülemlett hulladékok ésszerű ártalmatlanítása (anyagának és energiatartalmának hasznosítása) újabb környezeti terhelés létrehozása nélkül és a folyamatosan képződő hulladékok visszaforgatása a termelési folyamatba.

A hulladékprobléma megoldására (hulladékkezelés) **általános** szinten a következő megoldások kínálóznak prioritási sorrendben:

1. Hulladékképződés megelőzése (ill. elkerülése);
2. Hulladékképződés mennyiségének csökkentése – Reduce;
3. Hulladékhasznosítás – Reuse (ill. feldolgozás – Recycle);
4. Hulladék eltávolítása (ártalmatlanítása ha lehetséges, ha nem akkor elhelyezése).

(Reduce, Reuse, Recycle: 3RE)

Az „**általános**” szó két ok miatt került kiemelésre:

Először azért, mert ezt a hierarchiát tartalmazza többek között az új hulladéktörvény (2000/XLIII.tv.), az Európai Közösség, illetve az Európai Tanács környezetvédelmi irányelve is; valamint a hulladékkezelés műszaki követelménye. Műszaki, környezetvédelmi és gazdasági szempontból is nagy jelentősége van ennek a prioritásnak.

Másodszor pedig azért, mert a hulladékok összes csoportjára vonatkozik.

45. ábra: Hulladékkezelés szintje [20]

A hulladék megelőzés módszere a tervezési és egy kis részben a gyártási szakaszhoz tartozik; a csökkentés módszere a gyártási, elosztási és a használati; a többi módszer pedig a használat utáni stádiumra vonatkozik.

Ezeket (a megelőzést és a csökkentést) a tervezési és a termelési folyamatba sorolhatjuk; és mint más területen, itt is komoly kutatásokat végeztek (LA, stb.), melynek eredménye az ún. „low waste” (avagy alacsony hulladékszintű) technológia. Ez valójában nem más, mint egy javaslat a hulladék és energia csökkentés megvalósítására a termelési folyamatba.

A „low waste” technológiákat négy nagy csoportra lehet bontani:

1. Technológia:

- Számítógépes irányítás, szabályozás, tervezés;
- Zárt folyamatok (pl. víz- és vegyszer használatánál);
- Hulladékok visszavezetése a termelési folyamatba;
- Új környezetkímélő technológiák és legjobb elérhető technikák (BAT – Best Available Techniques); stb.

2. Konstrukció (bontható szerkezetek):

- Fizikai működőképesség növelése;
- Moduláris felépítés (többirányú felhasználás szempontjából);
- Minél kisebb egységek ;
- Kiszerezhetőség, szétszerelhetőség;
- Javíthatóság;
- Egységesített kötőelemek ;
- Anyag-spektrum (anyagok változatosságának) szűkítése – főleg műanyagoknál fontos;
- Anyagfelismerés elősegítése (pl. műanyagok gyári címkézése);
- Környezetkímélőbb termékre való áttérés.

3. Anyaghelyettesítés:

- Veszélyes anyagok (pl. CFC, PCB) helyettesítés;
- Újrahasznosíthatóbb és újrahasznosított anyagok alkalmazása;

4. Multifunkcionális felhasználás: mint másodlagos, harmadlagos és sokadlagos hasznosítás - igen fontos lenne, hogy már tervezési fázisban szem elé kerüljön ez a szempont. Jó példát nyújt erre a számítógépek újraalkalmazása>

- Professzionális alkalmazás;
- Másodlagos félprofesszionális alkalmazás (mint PC);
- Harmadlagos hasznosítás (pl. személyi és hobbi célokra);
- Sokadlagos hasznosítás (pl. elektronikus játékok, ital-automata gépek vezérlése, szabályozási funkciók betöltése).

Történtek már ilyen irányú törekvések, de csak különálló hulladékkezelési szférában, ennél fogva nehezen következik be az általános információ és motiváció visszacsatolás. A multifunkcionális felhasználást – mivel kívül esik az egyéni érdekeken – főleg a tervezési fázisban hagyják figyelmen kívül napjainkban, pedig pontosan ott lenne a leghatásosabb, és ezáltal a legfontosabb.

A mai modern technika lehetőséget nyújthat az iménti „low waste” technológia négy pontjának számítógépes feldolgozására. Ekként nagymértékben elősegíthetné a tervezést, a gyártást, sőt még a készülék-specifikált hulladékkezelést is, amennyiben

lehetőség adódik termék-, alkatrész-, illetve anyag-azonosításra. Ilyen célokat tartalmaznak az EU-direktívák is (IPPC).

Szakirodalomban már szintén lehet találkozni fejlesztéssel, melyek közül pár már be is vált (főleg a low waste első két pontja tekintetében), de ez még kevés.

Nagy haszna lesz az olyan (számítógépes) katalógusoknak, amelyek helyettesítéseket ajánlanak tervezőknek elavult anyagokra, vagy műszaki jellemzők, vegyes anyagok összeférhetősége, gazdasági, valamint technológiai szempontok szerint tesznek javaslatot a megfelelő alapanyag kiválasztásra, szem előtt tartva a legjobb elérhető technikákat (BAT – Best Available Techniques – IPPC direktiva eszköze) és a „low waste” technológiákat (pl. minél kevesebb típusú anyag felhasználás). Persze nem kell leszűkíteni a katalógust kizárólag az anyagokra; ugyanilyen szempontok alapján tartalmazhatna mechanikai kötések is. Hasonló fejlesztés adatbázisa már jó ideje működik az építészet területén KÖRKÉP – KÖRnyezetKímélőbb Építés adatbázisa néven az Interneten (<http://www.foek.hu/korkep/>).

Ezek a katalógusok meg tudják valósítani a korszerű műszaki szemlélet alapjainak az elterjedését is, azáltal, hogy „kézbe adnak” a tervezőnek, a gyártónak, sőt még a hulladékkezelő munkásnak is ezt a szemléletmódot.

3.1 Modellek

A környezetvédelmi fejlődés során rengeteg modell-váltás történt – a '60-as évek óta átlagosan tízévenként. Ráadásul ezeknek a modelleknek a határai össze is mosódnak. A hulladékkezelés területén szűkebb a választék és alapvetően csak két formája ismeretes: a nyitott és zárt rendszer. Vannak ezekkel párhuzamos modellek is, melyek más szempontból közelítik meg a kérdést (pl. körforgás), de végül is ugyanazt takarják.

A speciálisnak tekinthető műszaki hulladékokra pedig már csak üzemi szintű (technológiai) modellek léteznek, melyek egyrészt nem teljesek, másrészt pedig mindegyik más és más.

3.1.1 A hulladékkezelés alapmodelljei

Hagyományos folyamat-modell („Nyitott rendszer”):

Ez a modell tulajdonképpen csak egy történelmi visszatekintés a pár tíz évvel ezelőtti állapotokra (amikor a békét még a füstölő gyárak kéményeivel szimbolizálták).

A következő lépéseket foglalta magába:

1. Nyersanyag kitermelés
2. Alapanyag előállítás
3. Feldolgozás, gyártás
4. Elosztás, értékesítés
5. Felhasználás
6. Hulladék (lerakás, égetés)

Itt nem valósul meg az anyag mesterséges körfolyamata, mert vagy a szemét égetésével, vagy pedig lerakásával zárul le a folyamat. Így a hulladék csak a környezeten keresztül kerülhetne újra vissza a gazdaságba környezetkárosítás, szennyezés árán.

„Zárt rendszer”, mint modern folyamat modell:

A cél az, hogy az „életút végére” (*end of life*) eljutott termékeket vissza tudjuk forgatni a termelésbe. Ekképp elkerülhetőek a hulladék káros hatásai. Itt jegyezzük meg, hogy hulladékok keletkeznek még a termelés és a fogyasztás folyamata közben is, azonban ezeket nehezebb egységesen kezelni, ott inkább az azonnali, helyben történő visszaforgatást preferálják (pl. „tisztá technológiák”).

A 46. ábrán jól látszik, hogy a hasznosítás során ellentétes tendencia jelentkezik, mint a termék élete közben. Tulajdonképpen ez egy praktikus visszacsatolt nyitott rendszer, mely az életút végétől kezd érdekessé válni. Az innen kikerülő termék (O.) több helyen is hasznosítható (1-4, +5, /6/.). A hasznosítás helye *kívánatosság szerint van sorszámozva*.

A leginkább kívánatos hulladékhasznosítási terület napjainkban és a jövőben: a termék visszaforgatása a közhasználatba (reuse – 1.). Ezt a *termék-szintű visszaforgatásnak* nevezzük.

46. ábra: A zárt rendszer modellje [20]

3.1.2 A hulladékkezelés általános modellje a körforgás szempontjából

A legismertebb körfolyamatok a természetben rejlenek, melyek közül soknak több millió az eddigi periódusszámuk.

A gazdasági tevékenység erősen megbillenti a környezeti egyensúlyt. Ezért az elmúlt években kialakult szemléletmód alapján (fenntartható fejlődés) a gazdasági folyamatokat ki akarják választani a természetből, önálló körfolyamatba zárva. Ezt a szemléletmódot takarja az angol „recycle” kifejezés is.

A hulladékgazdálkodás általános modelljét „a körforgási modellt” a 47. ábra szemlélteti.

47. ábra: A körforgási modell [20]

Ezen a modellen jól be lehet mutatni visszaforgatási szintek prioritásának fontosságát. Vegyünk egy példát: a számítógépes processzoroknál (mint alkatrészek) kevésbé ismert az alkatrész szintű újrahasznosítás, inkább a magas nemesfém tartalma miatt anyagi szinten hasznosítják a nagyobb haszon érdekében – ez nagy hiba. Amennyiben alkatrész szinten hasznosítjuk újra, használat után újra visszakerül a hulladékkezeléshez. Ha már alkalmatlan újbóli újrafelhasználásra, akkor kellene csak feldolgozni. Ilyenformán csökkentjük a körforgásban lévő anyagmennyiséget, a környezeti elemek igénybevételét és végső soron a termék környezeti költségeit is.

3.2 A termelési folyamat és a környezet kapcsolata

A termelési folyamat és a környezet igen szoros kapcsolatban van / 48. ábra /. A termelés szempontjából környezet – javainak elsajátítása szükségletek kielégítése érdekében. Ez az elsajátítási folyamat anyagi (anyag, energia és emberi munka) jellegű folyamat, és lényegében a természet anyagainak átalakítását és/vagy mozgását rejti magában. Ezeknek a termelési folyamatoknak megvannak a sajátos gazdasági vetületei. Ezért igen lényeges a termelési folyamat megfelelő részletességű ismerete.

Másik oldalról szemlélve a termelés definícióját a természet mint környezet három területen van kapcsolatban a termelési folyamatban dolgozó emberrel:

1. a természet nyersanyag és energiaforrásul szolgál,
2. a természet az ember természetes élettere,
3. a természet a fölöslegessé váló felgyűlt anyagoknak, a hulladékoknak a befogadója.

48. ábra: Teljes termelési folyamat hulladék hasznosítás nélkül [7]

Az ábrán jól látható, hogy egyirányú körforgásról van szó: környezet $\rightarrow$ termelés $\rightarrow$ környezet. Ez a folyamat a gyakorlat részére megfordíthatatlan és megállíthatatlan (irreverzibilis). Megfordíthatatlan, mert a megfordítás esetén a termelés célja – a folyamat igazi mozgatója, a szükségletek kielégítése – vesztene értelmét. Megállíthatatlan, mert az emberi igények folyton újratermelődnék akár egyszerűen, akár bővítetten. Ezért egy monoton növekvő, megfordíthatatlan anyagi áramlást jelent a termelés. A termelést folyamatában és a termelést követő fogyasztási fázisban is keletkeznek olyan anyagok, amelyek közvetlenül (továbbá munkavégzés nélkül) nem hasznosíthatók: a termelési és fogyasztási folyamatok szempontjából hulladékok. Az idő múlásával a keletkező hulladékok mennyisége időről-időre nő, a hulladékok összes mennyisége is monoton nő. Ennek következtében beszélünk *hulladékontrópiáról*.

Miben áll a lényege? A hulladékontrópia lényege abban áll, hogy a természetből mint környezetből elvett anyagokat teljesen más formában átalakítva a környezet egészen más helyére, egészen más megoszlásban juttatjuk vissza.

Ez önmagában igazán nem jelentene gondot, hiszen ez a hulladékontrópiával járó jelenség az ősi természeti fejlődés részfolyamata. Ugyanez játszódik le egy

tápláléklánc – részben körforgás – estében is. A természet évmilliárdok alatt kialakította saját anyagi folyamatait, kialakította a külső (éghajlati, sugárzási, stb.) feltételeknek megfelelő szabályozási mechanizmusait (például egyedszám), és kialakult a természet egyensúlya elsősorban az anyagi körforgásnak köszönhetően. Ezt az anyagi körforgást az alkalmazkodás nagyszerű modelljének és rendszerének tekintenünk.

Ebbe az anyagi körforgásba az emberiség történetnek kezdetén az ember a saját tevékenységével jól beleillett. Az emberi tevékenység bővülésével, iparszerűvé válásával egyre több olyan tevékenység jelent meg, amely a környezetben irreverzibilis változásokat hozott létre. Ezek a változások az ipari fejlődés kezdetén többnyire lokális jellegűek é kis mértékűek voltak, és többnyire környezetben létező, azaz természetes anyagokból álltak. Ezeket a hatásokat a természeti környezet többnyire tovaterjedő károsodások nélkül elviseli és a lerakott anyagokat részben vagy egészben befogadja és feldolgozza.

A tudomány és technika jelentős fejlődésével új termelési eljárások és új anyagok váltak ismertté. Például új mesterséges kémiai anyagok (pl. műanyag), mesterséges rádióaktív anyagok (izotópok) és más egyéb nem természetes anyagok.

Mind a természetes, mind a mesterséges anyagok alkalmazásának mennyisége ipari méreteket öltött a XX. Század második felére. Ugyanilyen arányban nőtt a keletkező hulladékok mennyisége is. A termelési folyamatban felhasznált és keletkező anyagok mennyisége időről-időre exponenciálisan nőtt és nő. Az így keletkező hulladékokat a környezet nem képes károsodás nélkül befogadni, mert

- a környezetbarát vagy természetes anyagok helyi mennyisége és így intenzitása (hatása a lerakási helyre) olyan nagy, hogy azt a környezet saját erejéből feldolgozni nem képes,
- a környezet idegen mesterséges anyagok hatása intenzitástól függő mértékben károsítja a környezetét, és a környezet azt semmilyen mértékben nem képes feldolgozni.

Mindkét esetben megvan a termelés folyamatában használt és keletkezett anyagok szétszóródásának, vagy lerakásának és szétterjedésének veszélye. Itt a környezet rendszerként működik (modellezhető) és a környezetben elhelyezett idegen anyag pedig rendszerben, mint helyi zavar jelenik meg. A zavar hatása a zavarhelyétől különböző intenzitással tovaterjed és eljut(hat) végül is a rendszer legtávolabbi

helyére is. Hogy ez a tovaterjedés milyen intenzitással és mennyi idő alatt történik meg az a rendszer zavar helyének környékén lévő rendszerelemnek jellemzőitől és kölcsönhatárúktól függ elsősorban. Például egy élővíz fehérjékkel történő szennyezése igen gyorsan és nagy intenzitással megy végbe, míg egy hulladéklerakó esetleges hatása sok ezer év alatt jöhet létre.

3.3 A termelési folyamat és technológia kapcsolata

Az előzőekben rendszerint anyagról és/vagy anyagi folyamatokról beszéltünk. Anyagi folyamatokban természetesen anyag-, energia-, és munkaátalakítási folyamatot értünk, technológiai folyamatban gondolkozunk.

Ezt a technológiai folyamatot tágan, nem a szokásos formájában értelmezzük.

Nem csak az ipari technológiai folyamatokat értjük a technológiai folyamat alatt, hanem olyan folyamatot, ahol térben és időben az anyag(ok) bármely paraméterének megváltoztatása folyik. Itt lényeges, hogy nem természetes folyamatról (pl. növény fejlődése) van szó, hanem emberi célnak megfelelően irányított mesterséges folyamatról.

A technológiai folyamatot megvalósító erőforrásokat konkrét cél érdekében hozzák létre és működtetik. Ez a konkrét cél az igények kielégítését szolgáló főtermék előállítása. A főtermék egy technológiai folyamat működésének eredményeként megjelenő, az előírt feltételeknek megfelelő anyag, energia, eszköz, amely előállítása érdekében a technológiai folyamatot működtettük. A főtermék mellett keletkezhet melléktermék, amely minden további beavatkozás nélkül hasznosítható anyag és/vagy energia, azonban előállítása nem célja a technológiai folyamatnak, hanem csak annak szükségszerű velejárója. Más technológiát választva – vagy kidolgozva – a melléktermék termelése elmaradhat. Példaként mondhatjuk, hogy a városigazgató mellékterméke a kocsz, kocszgyártás mellékterméke a fűtőgáz.

Hulladéknak nevezzük a technológia szempontjából viszont minden olyan anyagot és/vagy energiát, amely a főtermék és a melléktermék mellett keletkezik. E megközelítésben a hulladék olyan anyag vagy energia, amely további alakítás(ok) (műveletek/k) nélkül nem használható fel, vagy további tevékenységet igényel. A

hulladék az alkalmazott technológia velejárója. Az alkalmazott technológiával hulladék nélkül a főtermék nem, vagy csak igen ritkán állítható elő.

A hulladék szempontjából a technológiákat a hulladék mutatóval szokás jellemezni:

$$H_m = \frac{\Sigma G_h}{\Sigma G_1} \rightarrow$$

ahol a nevező a technológiába belépő összes anyag tömegét, vagy energia mennyiségét jelenti, míg a számláló a folyamatból kilépő hulladékok összes tömegét vagy összes energiatartalmát jelentik. Minél kisebb a H_m hulladék mutató, annál inkább beszélhetünk hulladékszegény technológiáról míg $H_m = 0$ esetben hulladékmentes technológiával állunk szemben. Ez az eset, mint ahogy a továbbiakban kifejtésre kerülök is igazolják, rendkívül ritka esetben valósítható meg összetett technológiák esetén.

A hulladék a technológia szempontjából három részből tevődik össze

- selejt (nem javítható és gazdaságosan nem javítható selejt)
- veszteségek (szállítási s tárolási anyag és energiaveszteségek)
- technológia hulladék (pl.: szabási hulladék, forgács, üstmaradék, stb.)

A selejt mértéke minimalizálható, azonban teljes bizonyossággal nem zárható ki. Másrészt veszteségek a legnagyobb gondosság esetén is vannak. Harmadrészt a technológiai hulladék keletkezése a technológiák töredékénél zárható ki. Így a valóságos hulladékmentes technológiának megvalósítása összetett technológiák esetében igen minimális. Egyszerű technológiáknál (egy technológiai lépés) elképzelhető hulladékmentes eset. Például hulladékmentes technológia lehet egy fém (pl. acél) hőntartásos hőkezelése (de hőveszteség itt is képződik).

A hulladék mennyiségének csökkentése mind az anyag, mind az energia területén igen jelentős gazdasági eredményekkel jár. Irodalmi adatok alapján technológiától függően 1 % anyagihozatal javulás 3-6 %-os termelékenység-növekedéssel jár. A technológiák hulladéktermelésének csökkentése, a hulladékszegény technológiák irányába történő fejlesztése az alábbi változásokat hozza a technológiát működtető gazdálkodó szervezetnél és a környezetében:

- Csökken az anyag- és energiaköltség. Ugyanilyen arányban nő a nyereség.
- Csökkennek a szükséges raktárkészletek. Csökken a forgóalap nagysága, nő a nyereség.

- Termelőkapacítások szabadulnak fel a „hulladék termelésé”-ből, nő a termelékenység, több termék állítható elő ugyanolyan költséggel. Nő a nyereség.
- Csökken a hulladékok kezelésére (gyűjtés, szállítás, tárolás, ártalmatlanítás) fordítandó költség.
- Csökken a hulladékok okozta környezetterhelés.
- Csökken a környezet erőforrások igénybevétele.

Egy teljes termelési folyamatot szemléltet a hulladékok hasznosításával a 49. ábra.

49. ábra: Teljes termelési folyamat a hulladékok hasznosításával [7]

A működő technológiáknál a hulladék kibocsátás csökkentésének műszaki-szervezési intézkedései az anyagmérleg elkészítésével és annak szigorú, alapos elemzése alapján kezdhetők meg.

Az anyagmérleg egy gyártási folyamat belépő és kilépő anyagmennyiségeit egymással szembeállító, azok egyenlőtlenségének vizsgálatára alkalmas ábra vagy táblázat. Az anyagmérleg egy lehetséges formája az anyagforgalmi diagramok matematikai modellje: az Input-Output Mátrix.

Az anyagmérlegek kidolgozása esetében a kettős könyvvitel elvét célszerű követni, illetve felhasználni, hiszen az anyagkönyvelés vezeti a bevételezett és kiadott anyagok mennyiségét, a kettő különbségeként az anyagkészletet.

Természetes azonban, hogy bizonyos anyagokról az anyagkönyvelés nem vezet nyilvántartást: például a víz, levegő oxigénje melyek a folyamatok szükséges anyagai, de bevitt egyéb anyagok alapján a folyamatok eredményeként a végtermék mennyiségét minden esetben rögzítik.

Az 50. ábrán egyszerű anyagforgalmi diagramot mutatunk be. Az ábrák szerkesztésénél a jobb áttekinthetőség érdekében azonos mértékegységet alkalmaztunk. Az ábra bal oldala az input anyagok mérlegeit, míg a jobb oldal az output anyagokat mutatja. A felvázolt anyagmérleg-rendszer egyetlen alakítás elemzésére alkalmas. Több alakítás esetén az ábra középső része az alakítások számának megfelelően bővül. Egy összetett anyagmérleget és anyagforgalmi diagramot szemléltet az 51. ábra.

Az elkészített és a hatóság számára átadott anyagmérleg és anyagforgalmi diagram alapján a környezetvédelmi ellenőrzések jól megalapozhatók.

50. ábra: Egyszerű anyagforgalmi diagram az átalakulás ábrázolása nélkül [11]

Az anyagforgalmi diagramok szerkezete és fajtái

Az anyagforgalmi diagram, az anyagmérleg grafikus megjelenítése, amely bemutatja a technológiai folyamat anyagáramlását, ennek keretében az anyag átalakításokat, az átalakításhoz szükséges és az átalakítás folyamán keletkezett anyagelemeket.

Az anyagforgalmi diagram szerkezete szerint lehet:

- Egyszerű anyagforgalmi diagram, ahol egyetlen átalakítás kerül ábrázolásra,
- Összetett anyagforgalmi diagram, ahol több, egymáshoz input-output azonossággal kapcsolódó egyszerű anyagforgalmi diagramból épül fel a folyamat modellje / 51. ábra /
- Összevont anyagforgalmi diagram, ahol több egyszerű anyagforgalmi diagramból épül fel a folyamat modellje, de az egyszerű anyagforgalmi diagramok nem kerülnek részletezésre.

51. ábra: Összetett forgalmi diagram [18]

Az összetett anyagforgalmi diagramok készítése a gyakorlatban történhet:

- A folyamatot ábrázolhatjuk mennyiséggel arányos nyilakkal. Ha a nyilak és görbék szélessége az áramló anyagok mennyiségével arányos és a belső

átalakítást is ábrázoljuk, akkor az ismert Shankey-diagramról van szó / 52. ábra /.

- Másik lehetséges megoldás, hogy az anyagok mennyisége az input és output nyilak arányával ábrázolható a választott lépték szerint.
- A folyamatot mennyiséggel nem arányos nyilak és görbék segítségével ábrázoljuk.

Az elkészített anyagforgalmi diagram a gyakorlatban lehetséges:

- Gyártási mennyiségre vagy gyártási sorozatra vonatkozó anyagforgalmi diagram.
- Egységnyi végtermékre vonatkoztatott anyagforgalmi diagram vagy röviden fajlagos anyagforgalmi diagram.

52. ábra: Anyagmennyiséggel arányos szélességű vektorok használata (Shankey) [11]

Az előzőek szerinti diagramtípusok kombinálva is elképzelhetők és szerkeszthetők.

A hulladék fajlagos mennyiségének vizsgálata:

Az anyagmérleg elemzése világosan kimutatja azokat a „csomópontokat”, illetve anyag felhasználási veszteségeket, amelyek végső soron magasabb hulladék kibocsátást eredményeznek.

A másik műszaki-szervezési megoldás az anyagmérleg felülvizsgálatát követően a technológiai hulladék-fajlagosok meghatározása.

A technológiák anyag- és energiamérlegeinek vizsgálatánál elfogadottá vált fogalom a fajlagos anyagfelhasználás, amely „n” ($n = 0,1,2,\dots,k$ pozitív egész szám) darabszámú vagy egységnyi tömegű, térfogatú vagy felületű (kg , m^3 , m^2 késztermék előállításához szükséges anyag-mennyiségeket, míg a fajlagos energia felhasználás az „n” darabszámú vagy egységnyi tömegű, térfogatú vagy felületű késztermék előállításához szükséges energiamennyiséget adja meg.

A két fajlagos számértékének nagyságát a termék és a technológia – utóbbin belül a gyártóberendezések jósága, műszaki színvonala -, valamint a felhasznált nyersanyagok minősége együttesen szabják meg. A technológia fejlesztésének és a termékszínvonal növelésének célja a termék használati értékének emelésén túl éppen a két fajlagos – mint nyereségnövekedést meghatározó tényezők – csökkentése.

A hulladékgazdálkodás bevezetésével került előtérbe az egyes technológiák környezetkímélő vagy éppen környezetterhelő voltának vizsgálatakor a fajlagos hulladék kibocsátás (vagy hulladék-fajlagos), mint jellemző technológiai paraméter meghatározása.

A termék mérésére szolgáló jellemző mennyiségekkel (tömeg, hossz, felület, térfogat) ellentétben hulladék csak tömegben vagy térfogatba adható meg. A hulladék fajlagos dimenziója így a fenti mennyiségekből tetszőlegesen képezhető és jelenleg még bármelyik használata megengedett.

A termékre vonatkoztatott fajlagos hulladék kibocsátás számértékéből és a termékgyártás kapacitásából a kérdéses idő alatt kibocsátott hulladék mennyisége meghatározható.

A veszélyes hulladék mennyiségének csökkentése

A veszélyes hulladék keletkezés csökkentésének egy másik műszaki-szervezési lehetősége a vállalati anyagforgalom „átvilágítását” követően a felhasznált alap- és segédanyagok minőségének, elsősorban környezeti hatásának ellenőrzése.

Alapelvként szögezhető le, hogy törekedni kell az eddig veszélyes (toxikus, tűz- és robbanás-veszélyes, fertőző) alap- és segédanyagok kiváltására. Ez a fejlesztő eljárás tervező-technológus munkatársak szoros együttműködése, valamint a piaci lehetőségek elemzése alapján több esetben sikeresen megoldható.

Néhány gyakorlati példát említünk, a teljesség igénye nélkül:

Gépipar:

- A bárium- és cianidtartalmú cementáló sófürdők kiváltása – a termék végső minőségét nem befolyásoló – nem veszélyes cementáló alapanyagokra. Ilyen jellegű anyagok részint a nemzetközi gyakorlatban, részint már hazai fejlesztés eredményeképpen a piacon kaphatók.
- Cianidos galvanizáló fürdők helyettesítése cianidmentes – és ezáltal a környezetre kevésbé veszélyes – fürdőadalékokkal.
- Az öntőhomok kötőanyagok alkalmas megválasztása a fenol-formaldehid típusú anyagok kiváltására.

Vegyipari, gyógyszeripar:

- Az oldószeres technológiák felülvizsgálata, a tűzveszélyes oldószerek kiváltása más szerves oldószerekkel.
- A festékgyártási eljárásoknál a vizes diszperziós termékek fejlesztése, a jelenlegi töltő anyagok alkalmas átváltása, a hulladék nehézfém tartalmának csökkentése.

3.4 Technológiába integrált megelőző környezetvédelem (Tisztább Termelés = TT)

Az elméleti alapok ismertetésén túl arra is vállalkozunk, hogy néhány egyszerűen alkalmazható eszközt mutattunk be arra, hogy hogyan lehet a tisztább termelés elveit a vállalati gyakorlatban alkalmazni.

3.4.1 A tisztább termelés értelmezése

A vállalati gyakorlatban alkalmazott környezetvédelmi megoldásokat közelítésmódjuk szerint két alapvető típusba sorolhatjuk. A „reaktívnek” nevezett

megközelítés arra keres megoldást, hogy hogyan lehet a termelés során keletkező szennyezést a környezetre kevésbé ártalmas formába átalakítani. Az ún. „preventív” megoldások ezzel szemben azt tűzik célul, hogy a termelési folyamatot úgy módosítsák, hogy az eleve kevesebb, ill. kevésbé ártalmas szennyezőanyagot bocsásson ki. Az alábbi táblázat a reaktív és preventív stratégiát hasonlítja össze.

Az utólagos (reaktív) és megelőző (preventív) környezetvédelem összehasonlítása:

Reaktív környezetvédelem	Preventív környezetvédelem
„Mit kezdjek a hulladékokkal és emissziókkal?”	„Hol és miért keletkezik a hulladék és emisszió?”
...többletköltségekhez vezet	...költségcsökkenéshez vezet
A hulladékok és emissziók szűrők és kezelés következtében más formában kerülni ki. „csővégi” (End of Pipe) megoldás Utólagos („tüneti”) kezelés	A hulladékok és emissziók keletkezését a forrásnál kell megakadályozni. A gyártás és anyagfelhasználás kockázatának csökkentése.
A környezetvédelem csak akkor kerül napirendre, amikor a termék és az eljárás már kifejlesztésre került.	A környezetvédelem a termék- és gyártásfejlesztés szerves része
A környezeti problémákat műszaki úton oldják meg.	A környezeti problémákat minden érintett részleg részvételével oldják meg.
A környezetvédelem a felelős szakértők dolga.	A környezetvédelem mindenkit érint
...vásárolt szolgáltatás	...vállalatra jellemző innováció
...növeli a vállalati eszköz- és energiafelhasználást	...csökkenti a vállalati eszköz- és energiafelhasználást
...növeli a komplexitást és rizikót	...csökkenti a rizikót és átláthatóbbá teszi a termelést
A környezetvédelem kimerül a törvényi szabályozások teljesítésében.	A környezetvédelem egy állandó kihívás (= folyamatos fejlesztés).

A reaktív megközelítés jellemzően ún. „csővégi” (end-of-pipe) technológiák alkalmazásához vezet, amelyeket általánosítva egyszerű folyamatábrával szemléltethető / 53. ábra /.

Az ábra jól illusztrálja a táblázat néhány megállapítását: a csővégi technológia általában növeli a technológia komplexitását (ezáltal kockázatát), növeli az anyag- és energiafelhasználást, és végeredményben nem csökkenti (sőt esetenként növeli) a szennyezés⁰ (Emisszió = E) mennyiségét, csupán átalakítja a szennyező anyagokat valamilyen kevésbé ártalmas (vagy annak vélt) formába.

53. ábra: Reaktív (csővégi) technológia [19]

A preventív stratégia ezzel szemben arra törekszik, hogy a termelési folyamatba úgy avatkozzon be, hogy eleve csökkentse (vagy akár teljesen megszüntesse) bizonyos szennyező anyagok keletkezését. Ezt azáltal éri el, hogy a szennyezés keletkezésének okát kutatja, és a forrásnál avatkozik be a folyamatba. Fontos további kritériuma a preventív környezetvédelmi megoldásoknak, hogy az összes szennyezés csökkentését célozzák, tehát bizonyos szennyezések eltávolítása más szennyezések mennyiségének növelése árán nem jelent megoldást.

A preventív megoldásokra épülő környezetvédelmi stratégiát nevezik „Tisztább Termelésnek” (TT) is, ezt vizsgáljuk részletesebben a következőkben.

A tisztább termelés alapvetően arra a kérdésre keresi a választ, hogy „Hol és mért keletkezik a szennyezés?”. Ennek vizsgálatához tekintsünk egy teljesen általános termelési technológiát / 54. ábra / (mint egy „fekete dobozt”:

Az anyag- és energia-megmaradás törvénye (a mérleg-elv) értelmében a folyamatba bevitt és az azt elhagyó anyag- és energia-mennyiség egyenlő (stacionárius folyamatban a tározás nulla). Ebből az következik, hogy a hulladékok és emissziók ugyanazon alapanyagokból keletkeznek, mint a termék. Úgy is fogalmazhatunk, hogy a szennyezés tulajdonképpen elpazarolt nyersanyag.

54. ábra: Általános termelési technológia („fekete doboz”) [19]

A tisztább termelés tehát arra keresi a megoldást, hogy hogyan lehet a nyersanyagokat és az energiát minél hatékonyabban hasznosítani, azaz hogyan lehet azonos termékmennyiséget minél kisebb anyag- és energia-felhasználással előállítani / 55. ábra /. Amennyiben sikerül ilyen megoldásokat találni, a fentiek alapján világosan látszik, hogy ezek közvetlenül csökkentik a termelési költségeket, tehát anyagi hasznot hoznak a vállalatnak (amellett, hogy valóban hatékonyan csökkentik a környezet terhelését).

55. ábra: Tisztább technológia [21]

A tisztább termelés gyakorlati megvalósítását a vállalatnál számos különböző intézkedés szolgálhatja. Ezek közül néhányat (a leggyakoribbakat) az alábbiakban röviden ismertetünk..

- változtatás a terméken (anyagtakarékos desing, egynemű alapanyagok, természetes alapanyagok, stb.)
- gondosabb bánásmód (dolgozók motiválása, munkaszervezés, takarékoság, stb.)
- alap- és segédanyagok kiváltása (természetes v. biológiailag lebomló anyagok, környezetkímélő vegyszerek, stb.)
- technológiai változtatás (anyag- és energiatakarékos technológiák)
- belső visszaforgatás (újbóli felhasználás azonos célra, kaszkád felhasználás, hasznosítás más célra, stb.)
- külső recycling (strukturális vagy anyagbeli újrahasznosítás)
- visszaforgatás biogén körfolyamatokba (pl. komposztálás)
- ártalmatlanítás (hagyományos környezettechnikák, ha a fenti lehetőségeket már kimerítettük).

A következőkben néhány egyszerű eszközt mutatunk be, amelyekkel feltárhatók az üzem anyag- és energiaveszteségei, és ezek okai. Az így megszerzett ismeretek birtokában fogatosítható intézkedésekről később még szót ejtünk.

3.4.2 Anyagáramok elemzése:

Az anyag-áram elemzés célja, hogy feltárja az egyes alap- és segédanyagok útját az üzemben, és megmutassa, hogy azok mekkora részben kerülnek a termékbe, illetve hol és mekkora veszteségek keletkeznek belőlük (amelyek aztán valamilyen formában a környezetbe jutnak).

Korrekt elemzés elvégzéséhez megbízható adatokra van szükség. A szükséges adatok a legtöbb üzemben nem állnak közvetlenül olyan formában rendelkezésre, ahogy az anyagáram-elemzés ezt megkívánná. Az elemzés megfelelő fázisában tehát szükség van bizonyos adatgyűjtésre és rendszerezésre. Ehhez a következő forrásokat használhatjuk:

- könyvelés,
- beszerzés és raktár- (készlet-) gazdálkodás adatai,
- értékesítés adatai,
- receptek, normák, előírások,
- beszállítók adatai (kísérőlevelek, számlák, anyagösszetétel, stb.),

- hatósági bevallások
- üzemnaplók
- saját mérések és vizsgálatok jegyzőkönyvei
- egyéb.

Feltétlenül szem előtt kell tartani ezen adatforrások megbízhatóságát és pontosságát, és szükség esetén különböző adatforrások összevetésével meggyőződni a felhasznált adatok valóságáról. A gyakorlat azt mutatja, hogy az anyagáramok elemzése kapcsán a legtöbb üzemben felszínre kerültek az adatgyűjtés- és kezelés, valamint a nyilvántartások kisebb-nagyobb hiányosságai.

Az anyagáram-elemzések során a legtöbb hiba abból adódik, hogy az elemzés előkészítésénél nem kellő pontossággal és körültekintéssel határozták meg a vizsgálandó rendszert és a vizsgált paramétereket. Ennek elkerülése érdekében javasoljuk az alábbi lépések pontos követését:

A vizsgálat céljának és tárgyának definiálása

A vizsgálat (a tevékenység jelegétől függően) irányulhat egy adott anyag (víz, fa, kenőanyag, stb.), egy kémiai vegyület (pl. oldószer) vagy egyes elemek (elsősorban a vegyiparban) útjának nyomonkövetésére. Célja lehet veszteségi pontok feltárása, adott szennyezés keletkezési helyének vagy okának feltárása, hatékonyság vizsgálata, stb.)

A vizsgálandó rendszer (és a rendszerhatárok) pontos meghatározása

A rendszer lehet az egész vállalat (akár vállalat-csoport); annak fizikai, földrajzi vagy szervezeti egysége (egy részleg, vagy telephely, egy üzem); egy technológiai folyamat, annak részlépései; egy gép vagy berendezés; egy termék vagy termékcsoport életútjának a vállalatot érintő része; stb.)

A vizsgált időintervallum meghatározása

Általában egy év; lehet egy hónap, egy hét, egy nap; egy műszak; egy termelési ciklus (szakaszos üzemnél); egy szezon (szezónális üzemnél); adott termékmennyiség előállítási ideje; stb.

Fontos, hogy a választott időintervallum megfelelően reprezentálja a vizsgált rendszert.

A vizsgált rendszer (folyamat) részekre bontása

Olyan ésszerű részlépések meghatározása a feladat, amelyek egyedi vizsgálata még többlet-információt szolgáltat a rendszeren belül lezajló folyamatokról.

Anyagforgalmi diagramm készítése

Ez az anyagáramok útjának meghatározását jelenti az egyes részfolyamatok között (kvalitatív meghatározás).

Anyagmérlegek készítése

Az egyes részfolyamatok anyagmérlegeinek elkészítése révén kapunk kvantitatív képet az anyagáramokról. Az 5. és 6. pont a gyakorlatban általában egyidőben, iteratív módon hajtható végre.

Értelmezések, következtetések

Ez a pont jelenti az adatok információvá való konvertálást. Itt kell választ találnunk a célok megjelölésénél feltett kérdés(ek)re. A gyakorlatban erre a célra jól beváltak az alábbiakban bemutatandó vizualizálási módszerek.

Az elemzés eredményeinek grafikus megjelenítésére leggyakrabban az 56. ábrán bemutatott technikákat használjuk.

Nagyobb, bonyolultabb rendszereknél, több anyag egyidejű vizsgálatánál az anyagáram-elemzés adat-, munkaidő- és eszközigenye rendkívül nagy lehet. Ezért nagyon fontos a célok és a vizsgálandó paraméterek meghatározásánál ésszerű határok között tartani a vizsgálatot, és a várhatóan lényeges pontokra koncentrálni. A vizsgálat igényétől függően gyakran elegendő információhoz juthatunk megalapozott becslésekkel, megengedhető elhanyagolásokkal is. Némi gyakorlattal gyorsan meg lehet találni az adott probléma elemzéséhez szükséges és elégséges elemzési mélységet és pontosságot.

56. ábra: Az anyagáram-elemzés grafikus megjelenítésének módszerei [19]

3.4.3 Az energiaáram elemzése

Az üzemek energetikai elemzése elvégezhető az anyagáram-elemzésnél leírtak analógiájára. Ilyen elemzésnél mindig szembesülni fogunk azzal a ténnyel, hogy az energia-mérlegek output oldalán nem mérhető, diffúz (általában hő-) kibocsátásokkal, azaz veszteségekkel találkozunk. Ezek nagysága (legalábbis nagyságrendileg) az energiamérlegekből általában meghatározható. (Ha ez a „veszteség” egyes rendszerekben a mérlegek alapján 60-80 % körülre adódik, ne a számításban keressék a hibát! Energia-átalakító és –elosztó rendszerekben nem ritka az ilyen alacsony hatásfok.)

Bár az ilyen módon elvégzett elemzések a legtöbb esetben jól használható (és gyakran meglepő eredményeket szolgáltatnak; a rendelkezésre álló adatok gyakori hiánya miatt egyszerűbb, célirányosabb, általában kevesebb adatot és számítást igénylő elemzések honosodtak meg a gyakorlatban. Ezek az üzemi energiarendszer

bizonyos területeit vizsgálják, nem követnek nyomon bizonyos energiaáramokat a teljes folyamaton.

Ezek az elemzések az 57. ábra egyes pontjaihoz köthetők.

57. ábra: Az üzemi energiarendszer sémája [19]

A beszerzett (vásárolt) energia, illetve energiahordozók éves mennyiségeit (pontosabban az éves felhasználásokat) az alábbi szempontok szerint elemezhetjük:

- fajlagos felhasználások vizsgálata (termékmennyiségre, forgalomra, nyereségre vonatkoztatva) – összehasonlítás referencia-értékekkel (szakirodalom, benchmarking)
- egyes energiahordozók részarányának vizsgálata (pl. kogeneráció lehetőségének megállapítására)
- önellátás részarányának vizsgálata (stratégiai jelentőségű)
- másodlagos és megújuló energiahordozók részarányának vizsgálata (a fenntarthatóság és a várható árváltozások szempontjából fontos).

Vizsgálhatjuk az energiafogyasztás időbeli alakulását is. Egymást követő évekre elvégezve a fenti elemzéseket előnyös vagy hátrányos trendek olvashatók ki az összehasonlításból. Heti vagy havi fogyasztások alakulását éves szinten vizsgálva szempont lehet:

- szezonalitás vizsgálata (pl. a téli és nyári hőenergia-felhasználás összehasonlítása durva közelítéssel felvilágosítást ad a technológiai és a fűtési célú hőfelhasználás arányáról)
- a lekötött elektromos teljesítmény és a tényleges csúcsfogyasztás alakulásának vizsgálata (a helyes terhelés-menedzsment kialakításához).

Rövidebb időszakokat vizsgálva heti vagy napi felhasználási profilokat vehetünk fel, amelyekből vizsgálhatjuk:

- a termelési időn kívüli (éjszakai, hétvégi) fogyasztásokat – ezek esetenként felvilágosítást adhatnak az egyes rendszerek (pl. gőz, hűtés, sűrített levegő) veszteségeiről
- csúcsidőszakok fogyasztásait (a helyes terhelés-menedzsment kialakításához, szűk keresztmetszetek kialakulásának elkerülésére)
- abnormális üzemi körülményen (gépindulás, leállás, termékváltás, karbantartás, üzemzavar, baleset) esetén jelentkező fogyasztásokat.

Az időbeli változások vizsgálatakor elemezhetjük az abszolút és a fajlagos fogyasztásokat egyaránt. Összehasonlítások készítésekor ügyelni kell arra, hogy az összehasonlítandó adatok hasonló körülményekre vonatkozzanak (félrevezető lehet például különböző terméktípusokra vonatkozó fajlagos fogyasztások összehasonlítása).

Mindeddig csak az üzem összes energia-felhasználását (az energiarendszer „beszerzés” mezejét) vizsgáltuk, tovább haladva a rendszerben elemezhetjük az energia-átalakítás és –elosztás területét. Energia-átalakító és –elosztó berendezések (kazán, hűtőgépház, kompresszorok, trafóház; gőz-, hűtés-, vagy elektromos vezetékek) gyakorlatilag minden üzemben előfordulnak. Ezek vizsgálata minden esetben célszerű és indokolt, mert az energiaveszteségek zöme az átalakítás és elosztás területén keletkezik. Ezen a területek vizsgálhatjuk:

- az energia-átalakítás hatásfokát (referencia-adatokhoz viszonyítva)
- a méretezés megfelelőségét – a berendezések hatásfoka általában a névleges teljesítményük körüli terhelés mellett a legjobb, alacsony terhelésnél drasztikusan romolhat
- az elosztórendszerek szigeteltségét (a rossz vagy hiányzó szigetelésekből adódó veszteség akár az 50 %-ot is elérheti – érdemes külön figyelmet fordítani az armatúrákra és egyéb szerelvényekre)

- az elosztórendszerek zártságát (különös tekintettel a „visszatérő ágakra” – pl. kondenzvíz)
- a tömítettséget (pl. gőz-, hűtés-, vagy sűrített levegő hálózatokban).

A következő területre lépve a fogyasztók elemzésénél vizsgálhatjuk:

- az összes fogyasztáson belül képviselt részarányukat (pl. az energiatakarékossági intézkedések prioritizálásához)
- fajlagos fogyasztásukat (szakirodalom, benchmarking)
- szabályos és vezérlés kérdéseit (pl. motorok fordulatszám-szabályozása, fűtés és klíma termosztát-szabályozása, stb.)
- hőfogyasztóknál a párolgási veszteségeket (pl. nyitott üstök)
- a másodlagos hasznosítás, kaszkád-hasznosítás, visszaforgatás lehetőségeit (pl. hőszivattyúk, hőcserélők)
- beruházásoknál az energiatakarékos fogyasztók favorizálását.

A hulladék hő-hasznosítás, illetve hővisszanyerés lehetőségeinek vizsgálatához egyszerűbb esetekben elegendő a környezetbe távozó hőáramok és a potenciális felhasználók által megkívánt hőmennyiség és a hőmérsékleti nivó összehasonlítása. (Az elosztási veszteségek és a viszonylag magas beruházási költség miatt célszerű térben egymáshoz közel található berendezésekre koncentrálni. Nem szabad szem elől téveszteni a különböző folyamatok időbeli lefutásából eredő korlátokat.)

Mind az anyagáram-elemzések, mind az energetikai elemzések elvégzésekor célszerű a feltárt veszteségeket, illetve a megtakarítási potenciált a természetes mértékegységek mellett azonnal anyagiakban is kimutatni. A tervezett intézkedések megtérülési ideje ez alapján becsülhető.

3.5 Integrált szennyezés-megelőzés és szabályozás (IPPC)

Az integrált szennyezés-megelőzésről és szabályozásról (Integrated Pollution Prevention and Control, a továbbiakban: IPPC) szóló 96/61. számú közösségi direktívát az Európai Tanács 1996. szeptember 24-én fogadta el, ugyanezen év októberétől hatályos az összes tagállamban, de a tagállamok 3 évet kaptak a megfelelő végrehajtási intézkedések meghozatalára, így tulajdonképpen 1999. október 30-tól alkalmazzák EU szerte. Kiemelkedő fontossága – többek közt – abban

rejlík, hogy ez nem csupán egy közigazgatási eljárási és szervezési változást jelent, hanem egy egész környezetvédelmi szabályozási koncepció- és módszerváltást is.

Az IPPC direktíva olyan engedélyezési rendszer kialakítását írja elő, mely az egész környezet magas szintű védelmi érdekében, a legjobb elérhető technikákra (Best Available Techniques, a továbbiakban: BAT) építve, azokra az ipari tevékenységekre állapít meg szabályokat, melyeknél a legvalószínűbb a környezeti elemek bármilyen szennyezése. 1999. októberétől csak azok a létesítmények kaphatnak működésük megkezdéséhez, illetve folytatásához – ti. ahol jelentős módosításokat terveznek a már üzemelő létesítmények tevékenységében – engedélyt az EU-ban, melyek teljesítik a direktívában megkövetelt feltételeket. Az alapvető változtatás nélkül már működő létesítményekre az IPPC előírásait csak 2007. október 30-a után kell kötelezően alkalmazni a tagállamoknak.

A direktívával (irányelvvel), mint jogszabályi formával kapcsolatosan a következőt kell kiemelnünk. Az Európai Unió döntéshozási folyamata során a közösségi jogszabályoknak alábbi típusai jöhetnek létre:

- rendeletek (regulations) olyan jogszabályok, amelyek közvetlenül alkalmazhatók a nemzeti jogrendszerekben;
- a döntések (decisions) kötelező érvényűek mindazokra nézve, akikre vonatkoznak, ez döntés vonatkozhat bármelyik vagy valamennyi tagállamra, vállalkozásra vagy egyénre;
- az ajánlások és vélemények (recommendations and opinions) jogi értelemben nem kötelező érvényűek;
- direktívák (directives) a közösségi környezeti politika körében leggyakrabban alkalmazott szabályozási eszköz. Mivel direktíva a megfogalmazott eredmény elérésére kötelez, azonban a szabályozás eszközeinek és módszereinek megválasztását a tagállamokra bízta, igen rugalmasan teszi lehetővé a tagországos sajátos körülményeinek figyelembe vételét, ideértve mind a földrajzi körülményeket, a környezet állapotát, az adott állam jogrendszerének és igazgatási rendszerének sajátosságait, a környezeti politika és a környezetvédelmi jogi szabályozás aktuális színvonalát.

Célszerű itt megjegyezni, hogy az IPPC magyar megfelelőjeként időnként találkozni lehet az „integrált szennyezés-megelőzés és ellenőrzés” fordítással is, azonban az angol „control” szó egyrészt szabályozást is jelenthet,

másrészt pedig az IPPC Direktíva sokkal inkább a hatálya alá eső terület szabályozására, mintsem ellenőrzésére épít, ezért mi a továbbiakban is az „integrált szennyezés-megelőzés és szabályozás” fordítást használjuk.

Az IPPC Direktíva az EU úgynevezett horizontális szabályozási eszközeinek körébe tartozik. Ezek alkalmazásának célja, hogy kiküszöböljék a szektorális jogalkotás deficitjét – ti., hogy nem képes a környezet, mint egységes egész átfogó, illetve megelőző jellegű védelmét biztosítani. A Jogközelítési Útmutató magyarázata szerint akkor tekinthető egy jogszabály horizontálisnak, ha az általános környezetgazdálkodás kérdéseire vonatkozik, és nem egyes szektorok, termékek vagy kibocsátási típusok alkotják lényegét.

A szabályozás lényegi tartalma két pilléren áll: az engedélyezési eljárás és a legjobb elérhető technikák (BAT) alkalmazásán. Ezek mellett kiemelt jelentőséggel bír az információcsere követelménye a szabályozottak, a hatóságok és a tagállamok között, valamint a nyilvánosság részvétele az engedélyezési eljárásban.

A direktívát 1999. októberétől kell alkalmazni az összes tagországban, és rendelkezéseit minden olyan új ipari tevékenységre alkalmazni kell, melyeket a direktíva I. számú melléklete felsorol, valamint azokra a létesítményekre is, melyek tevékenységében jelentős módosításokat hajtanak végre. Az alapvető változtatás nélkül működő (vagy másként: már meglévő) létesítményekre az IPPC előírásait csak 2007. október 30-a után kell kötelezően alkalmazni az EU tagországaiban. Ezek olyan létesítmények, melyek üzemelése során a legnagyobb valószínűsége annak, hogy szennyezhetik vagy károsíthatják a környezetet. A melléklet 6 nagy csoportba sorolja az ilyen tulajdonsággal rendelkező tevékenységeket:

1. energiaipar
2. fémek termelése és feldolgozása
3. ásványi anyagokat feldolgozó ipar
4. vegyipar
5. hulladékkezelés, valamint
6. egyéb tevékenységek (pl. faanyagokból származó anyagokat feldolgozó üzemek, tejfeldolgozó üzemek, vágóhidak, stb.)

A direktíva ezen telephelyek összes szennyezését szabályozza. Bizonyos ágazatokban vagy azokon belül működő üzemek kimaradnak az IPPC szabályozásból, mert a direktíva csupán a mellékletben felsorolt tevékenységeket

érinti és azok között is csak azokat, melyek meghatározott kapacitás felett termelnek. Így az IPPC rendszer az eddigi szektorális szennyezési engedélyezés mellett fog működni.

Konkrét példát említve az I. mellékletből: égetőberendezések csak 50 MW-ot meghaladó hőteljesítmény felett; vasfémek feldolgozására szolgáló meleghengerversorok csak 20 tonna nyersacél/óra kapacitáson felül tartoznak a direktíva hatálya alá; míg például foszfor-, nitrogén- vagy kálium-alapú műtrágyák gyártására vagy ásványolaj finomítókra kapacitásuktól függetlenül vonatkozik a direktíva.

A magyar kormányzat – ambiciózus – jogszabály-alkotási ütemerve szerint 2001. november 1-től fog életbe lépni az IPPC direktívának megfelelő magyar szabályozás. Az EU hajthatatlannak látszik abban a kérdésben, hogy mely létesítmények minősülnek újnak a tagjelölt országokban. Az EU szerint ugyanis újnak minősül minden olyan létesítmény a tagjelölt országokban is, melyek 1999. október 31. után jöttek létre. Magyarország elvállalta, hogy csatlakozásunk időpontjáig minden újnak minősülő beruházás rendelkezni fog IPPC engedéllyel!

A BAT fogalom – mint a direktíva legfontosabb eleme az alábbiak szerint értelmezhető:

Legjobb Elérhető Technikák (Best Available Techniques – BAT) jelentése az alkalmazott tevékenységek és működtetési módszereik fejlettségének leghatékonyabb és legmagasabb színvonala, ami jelzi az adott műszaki berendezések gyakorlati megfelelőségét arra, hogy biztosítsák az elvi alapot a kibocsátási határértékek meghatározásához, amely határértékeket úgy terveztek, hogy megakadályozzák, vagy ahol ez gyakorlatilag nem lehetséges általánosan csökkentse a kibocsátásokat és azok hatását a környezetre, mint egészre;

- Technika (techniques) jelentése mind az alkalmazott technológia, mind annak módja, ahogy a létesítményt tervezték, építették, karbantartották, üzemeltették és lebontották;
- Elérhető (available) technikák azok, amelyeket oly mértékben fejlesztettek ki, hogy a vonatkozó ipari szektorban alkalmazhatóak legyenek gazdaságilag és műszakilag életképes feltételek mellett, figyelembe véve a költségeket és az előnyöket, függetlenül attól, hogy az adott technikát a kérdéses tagállamban alkalmazzák vagy előállítják, vagy sem, addig a mértékig, amíg azok ésszerűen

hozzáférhetők az üzemeltető számára. Találkozni lehet még az „available” kifejezés „beszerezhető” vagy „rendelkezésre álló” fordításával is, melyek szintén helyesek;

- Legjobb (best) jelentése a leghatékonyabb abban, hogy a környezet, mint egész védelmében egy magas fokú általános szintet érjenek el.

3.5.1 Az ipari létesítmények üzemeltetőinek alapvető kötelezettségeit szabályozó elvek

Az IPPC direktíva hatálya alá tartozó létesítmények üzemeltetésének (a 3. Cikkely szerint) oly módon kell történnie, hogy;

- minden ésszerű megelőző intézkedést megtesznek a szennyezés ellen, különösen a Legjobb Elérhető Technikák (BAT) alkalmazása révén;
- nem okoznak jelentős szennyezést;
- megelőzik a hulladékok keletkezését, ahol hulladék keletkezik, azt újrahasznosítják, vagy ahol ez műszakilag és gazdaságilag lehetetlen, hulladéklerakóba helyezik el addig, míg elkerülik vagy csökkentik annak környezetre gyakorolt bármilyen hatását;
- az energiát hatékonyan használják fel;
- megteszik a szükséges intézkedéseket annak érdekében, hogy megelőzzék a baleseteket és csökkentsék azok következményeit;
- tevékenységük végleges leállításkor megteszik a szükséges intézkedéseket annak érdekében, hogy elkerüljék bármiféle szennyezés kockázatát és az üzemelő telepet visszaállítsák kielégítő állapotába.

Röviden összefoglalva az IPP a hatálya alá eső létesítmények számára olyan integrált engedély meglétét írja elő, ami egyszerre szabályozza:

- A szennyvízkibocsátást;
- A levegőbe történő kibocsátásokat;
- A szilárd hulladékokat;
- A zajt; és
- A létesítmény működését és irányítását.

Ennek az engedélynek a megszerzéséhez az üzemeltetőnek az alábbiakat tartalmazó engedélykérelmet kell benyújtania a hatósághoz:

- A létesítmény és az abban folyó tevékenységek leírását;
- A nyersanyag és kiegészítő anyagok, egyéb anyagok és a létesítményben előállított vagy felhasznált energia leírását;
- A létesítmény kibocsátási forrásainak leírását;
- A létesítmény telephelyének körülményeit;
- A létesítményből az egyes környezeti elemekbe előreláthatólag kibocsátott anyagok természetének és mennyiségének leírását, valamint ezen kibocsátások környezetre gyakorolt jelentős hatásait;
- Javasolt technológia és egyéb, a létesítményből való kibocsátás megelőzésére, vagy ahol ez nem lehetséges, csökkentésére használt műszaki eszközök leírását;
- Ahol szükséges, a hulladékok keletkezésének megelőzésére, valamint a létesítményben keletkezett hulladékok újrahasznosítása érdekében hozott intézkedések leírását;
- Azoknak az intézkedéseknek a leírását, melyeket a környezetbe való kibocsátás ellenőrzése érdekében terveznek.

Az engedélykérelemnek tartalmaznia kell még a fenti tételekben hivatkozott részletek nem műszaki jellegű összefoglalását.

3.5.2 A BAT-on alapuló engedélyezési rendszer előnyei, működéséhez szükséges feltételek

Noha a BAT-rendszer alkalmazása jóval komplexebb, mint egy előíró jellegű – pusztán határértékek megadására szorítókozó – rendszeré, számos előnye van (illetve lehet) ez utóbbival szemben:

- segíti és ösztönzi az innovációt, továbbá az előírások folyamatos fejlesztését igényli;
- a hatóságot és az ipart egyaránt egy átlátható és felelősségen alapuló rendszer alkalmazására ösztönzi;
- a környezetvédelem szempontjából hatékonyabb, mivel egységes egésként, integrált szemléletmóddal kezeli a környezetet;
- A BAT és az IPPC felelősségteljes kezelésre és a környezeti hatások megértésére ösztönzi az üzemeltetőt, a hatóságot, a tagállamokat (és az állampolgárokat is);

- A BAT és az IPPC nagy hangsúlyt fektet a kibocsátásoknak már eleve a keletkezésénél történő csökkentésére, azaz fenntarthatóbb ipari eljárások kifejlődésére.

Azon üzemeltetőknél és szervezeteknél, ahol eddig az előíró szabályozást és megadott határértékek használatát szokták meg, az IPPC és a AT alkalmazása jelentős szemléletbeli változásokat igényel majd egy nyomonkövethetőbb, áttekinthetőbb és felelősségteljesebb környezetvédelem kialakulása felé.

A BAT definíciójából következően számos feladat vár az Európai Bizottságra, a tagállamokra, a hatóságokra és az engedélyért folyamodó üzemeltetőkre. Ezen feladatok teljesítésének igen fontos feltétele a működő létesítmények környezeti teljesítményének, valamint a legújabb megoldások ipari méretű alkalmazásainak aktuális, naprakész és hiteles ismeretek.

3.6 Az életciklus-elemzés (LCA)

Az életciklus-elemzés egy termék, folyamat vagy szolgáltatás életútja során vizsgálja a környezeti szempontokat és a potenciális hatásokat. Egy termék életútjának nevezzük a szükséges nyersanyag bányászattól és előkészítéstől a termék gyártáson keresztül a termék használatáig és a használat után keletkező hulladék elhelyezéséig terjedő szakaszt. A környezeti hatásoknál figyelembe kell venni a források felhasználását, az emberi egészséget és az ökoszisztéma állapotát. Az életciklus-elemzés tárgy általában olyan termék, folyamat vagy szolgáltatás, melynél választási lehetőségünk van az azonos funkciójú, de a környezetre eltérő mértékben ható rendszerek között.

Az életciklus-elemzés, vagy röviden LCA (Life Cycle Assessment) iránti érdeklődés az 1980-as évek közepétől fokozatos növekedést mutat. Az 1992-es UN Earth Summit tanulmánya szerint az életciklus-elemzés a környezetvédelmi menedzsment ígéretes, új eszköze. A döntéshozatal, a környezetvédelmi politika elsősorban termékekkel, ökocímkézéssel, csomagolási szabályok megalkotásával összefüggő részeiben játszhat fontos szerepet. Az életciklus-elemzés azonban nem elsősorban a termék eladásának, hanem a folyamatos fejlesztésnek az eszköze.

Az életciklus-elemzés fogalma, fontosabb definíciók [22]

Életciklus: (MSZ ISO 14040, 1997)

„Egy termék hatásrendszerének egymás után következő, egymáshoz kapcsolódó szakaszai, a nyersanyag beszerzéstől vagy a természeti erőforrás keletkezésétől az újrahasznosításig vagy az ártalmatlanításig.”

Életciklus-elemzés: (MSZ ISO 14040, 1997)

„Egy termék hatásrendszeréhez tartozó bemenet, kimenet és a potenciális környezeti hatások összegyűjtése és értékelése annak teljes életciklusa során.”

Az elemzés során a következő fogalmakat kell biztosan kezelnünk:

- Környezeti tényező – egy tevékenység, termék vagy szolgáltatás azon része, amely kapcsolatban áll a környezettel.
- Funkcióegység – egy termék rendszer mennyiségi megjelenése, amely referencia egységként szolgál a tanulmányban.
- Életciklus – a termék rendszer összekapcsolt lépései, a nyersanyag bányászattól vagy a természeti erőforrások előállításától a végső hulladékelhelyezésig.
- Életciklus-értékelés – termék rendszer életciklusa alatt inputok, outputok és potenciális környezeti hatások összegyűjtése és értékelése.
- Életciklus hatásbecslés – életciklus-becslés azon szakasza, mely a termék rendszer potenciális környezeti hatásainak jelentőségét és nagyságát értelmezi és értékeli.
- Életciklus értelmezés – az életciklus-becslés azon fázisa, melyben a leltár analízist és/vagy a hatásbecslést összevetik a cél és a hatásterület meghatározásával a célból, hogy következtetéseket vonjanak le és ajánlásokat tegyenek.
- Életciklus-leltár analízis – az életciklus-elemzés azon része, melyben az adott termék rendszer életciklusa alatti inputok és outputok összegyűjtése és mennyiségi meghatározása történik.
- Termék rendszere – anyagilag és energetikailag összefüggő folyamat egységek gyűjteménye, melyek egy vagy több meghatározott funkcióval rendelkeznek.

- Rendszerhatár – termék rendszer és a környezete közti kapcsolat.
- Folyamat egység – termék rendszer legkisebb része, amelyben adatgyűjtés folyik az elemzéshez.

Az életciklus-elemzés egy termékkel vagy egy folyamattal kapcsolatos környezeti terhek értékelésének a folyamata. Felismerte, hogy a termékek, folyamatok és szolgáltatások minden egyes életciklus lépcsője környezeti és gazdasági hatásokkal jár.

Ez a folyamat a gyártás vagy folyamat során felhasznált energia, anyagok és a környezetbe bocsátott emissziók minőségi és mennyiségi meghatározásával kezdődik. Ezen adatok alapján lehet a termék vagy folyamat környezeti hatását felbecsülni, szisztematikusan értékelni és a környezeti fejlesztés lehetőségeit felmérni. Az LCA a termék, a csomagolás vagy a folyamat teljes életciklusát tartalmazza, nevezhető „bölcsőtől a sírig” megközelítésnek is.

A teljes életút lépései:

- nyersanyagok kitermelése és feldolgozása,
- gyártás,
- szállítás és terjesztés,
- használat,
- újrafelhasználás, újrahasznosítás,
- hulladékelhelyezés.

Az életciklus-elemzés az ún. leltár fázisból, hatásbecslésből és a fejlesztés analíziséből áll. Az LCA leltár fázisa az energia és a nyersanyag szükségletek meghatározásának objektív, adatokon alapuló folyamata. Ezen túl a leltár fázis tartalmazza a vízi és légköri emissziók, a szilárd hulladékok és más környezeti hatások meghatározását a termék, folyamat vagy szolgáltatás életciklusa során. Az életciklus-elemzés hatásbecslése technikai, mennyiségi vagy minőségi folyamat a leltárban meghatározott környezeti terhelések hatásának jellemzésére és becslésére.

A becslésnél mind ökológiai, mind az emberi egészséget figyelembe kell venni, illetve olyan egyéb hatásokat is, mint pl. egy élőhely megváltozása, vagy a zajhatás. Az LCA fejlesztés analízise a termék, folyamat vagy szolgáltatás teljes életciklusa alatti környezeti terhelés csökkentési lehetőségeinek és szükségességének a

szisztematikus értékelése. E módszer segítségével az életciklus-elemzés a környezeti fejlesztés fontos eszközévé válhat.

Az LCA környezeti szempontok elemzésének és egy termékhez kapcsolódó potenciális környezeti hatás becslésének az eszköze az által, hogy:

- leltárt készít a termékrendszer fontosabb in- és outputjairól,
- ezen adatokhoz kapcsolódó potenciális környezeti hatásokat értékeli,
- és a leltár és a hatásbecslési fázis eredményeit a tanulmány céljának tükrében értelmezi.

Az életciklus-elemzés segíti:

- egy termék életciklusának különböző pontjain a környezeti szempont fejlesztési lehetőségeinek meghatározását,
- döntéshozatalt az iparban, kormányzatban és nem-kormányzati szervezetekben,
- a környezeti megjelenés fontosabb indikátorainak kiválasztását,
- és a környezeti marketing tevékenységet.

3.7 Vállalati környezetközpontú irányítási rendszerek /KIR, KMR/

A környezetvédelem kérdései századunk utolsó évtizedeiben az ipar néhány látványos balfogása (pl. DDT), számos tragikus és nevezetes, környezeti következményekkel járó katasztrófa (pl. Bophal, Exxon Valdez, Csernobil) nyomán kerültek az érdeklődés középpontjába. Magyarországon is ismertté váltak olyan esetek, amelyek az elmúlt évtizedek felelőtlen gazdálkodási-irányítási gyakorlatának példái. Éppen ezért hazánkban és az Európai Unióban is a környezetvédelmi politika fontos szerepet kap a gazdaság-, ipar-, mezőgazdaság- és társadalompolitika mellett. Korunk lényeges jellemzői közé tartozik az ipari és szolgáltató tevékenységek globalizációja – amely hatalmas tömegű anyagszállítást igényel. A Föld teljes működési rendszerét befolyásoló méretű anyag- és energiafelhasználás, a soha nem használt és nem ismert új anyagfajták elterjedése, a tudományt is nehéz helyzetbe hozza. Mivel képtelen kellő ütemben válaszolni a társadalom lényeges kérdéseire. Többek közt ezért tanúi vagyunk az intézményrendszer hitelvesztésének. A Föld

lakossága minden korábbinál nagyobb ütemben növekszik. Ezek a kihívások nem kezelhetők a környezet figyelmen kívül hagyásával.

A fenntartható fejlődés, a környezet védelme az 1990-es években vált az üzleti vállalkozások stratégiai tényezőjévé. A vállalkozásoknak jelentősen szigorúbb törvényi, hatósági szabályozásnak kell megfelelni, megnőtt a lakosság érzékenysége a környezeti kérdések iránt, miközben fokozódott az igény a környezeti kockázatokra vonatkozó megfelelő tájékoztatásra. A médiumok is korábban soha nem tapasztalt mértékben összpontosítanak környezeti kérdésekre, és a nemzetközi egyezmények is fokozódó hangsúlyt helyeznek a környezet megóvására. Mindezek következtében nyilvánvaló, hogy a környezetvédelemnek növekvő hatása van és lesz kis és nagy vállalatokra egyaránt, Magyarországon ugyanúgy, mint más országokban.

A környezettudatos fejlődés tényleges kulcsa azonban az egyéneknek és szervezeteknek a minőség és a környezeti teljesítmény iránti elkötelezettsége, amely nem csak helyi méretekben valósul meg, hanem az egész földkerekségre kiterjed.

1972-ben az ENSZ Stockholmban konferenciát rendezett az emberi környezetről. A konferencia egyik legfontosabb eredménye az UNEP (United Nations Environmental Programme) megalakítása volt. Ez a szervezet hivatott összefogni és koordinálni az ENSZ különböző hivatalainak és szervezeteinek a környezetvédelemmel kapcsolatos tevékenységét.

A Brundtland Commission 1987-ben „Közös jövőnk” („Our common future”) címmel jelentést adott ki, melyben a gazdasági növekedés és a környezet „eltartóképesége” közötti egyensúly megteremtését, a fenntartható fejlődés elérését szorgalmazta.

1991-ben a Nemzetközi Kereskedelmi Kamara (International Chamber of Commerce – ICC) kiadta a „Business Charter for Sustainable Development” című gyűjteményt, amely a fenntartható fejlődés elérését célzó 16 alapelvet tartalmaz. Ezek az alapelvek a környezetközpontú irányítási rendszerek elemeinek jelentős részét tartalmazzák. A BCSD kezdeményezésére 1991-ben létrejött Strategic Advisory Group on the Environment (SAGE) ajánlásai alapján 1993. januárjában az ISO-n belül bizottság alakult (TC 207), melynek feladata az ISO 1400 szabványsorozat kidolgozása. A TC 207 különböző albizottságokból és munkabizottságokból állt össze.

Az 1992-ben Rio de Janeiro-ban megtartott ENSZ konferencián (Earth Summit, UNCED) született meg az „Agenda 21” („megoldandó feladatok a XXI. században”)

a fenntartható fejlődés elveit és a gyakorlati megvalósítás lehetőségeit és eszközeit tárgyaló átfogó útmutató.

A környezetirányítás szabványos rendszerei közül az Angliában kidolgozott BS (British Standard) 7750 szabvány és az Európai közösségek Tanácsa által kiadott EC-Eco-Management and Audit Scheme (EMAS), az európai követelményrendszer a legismertebbek. Ezek szolgáltak az 1996 őszén kiadott ISO 14001 szabvány, a 14000-es sorozat első tagjának alapjául.

Az „ISO-14000” megnevezés az ISO által készített környezetvédelmi szabványok összességét jelenti, számozásuk 14000-el kezdődik.

A szabványsorozat egyes elmeinek tartamát itt mutatjuk be röviden. Később részletesebben tárgyaljuk az ISO 14001 szabványt, amely az egész sorozat kulcseleme.

Az ISO 14000 szabványsorozat írja le azon alapelemeket, amelyekből felépül egy hatékonyan működő környezeti menedzsment rendszer. Ezek közé tartozik a saját közvezetpolitika és célkítűzések kialakítása, ezek elérésére szolgáló programok megvalósítása, a környezeti teljesítmény mérése, a hibák kijavítása és a környezeti teljesítmény növelését szolgáló rendszer figyelemmel kísérése.

A hatékony környezetirányítási rendszer segíti a vállalatokat működésük környezeti vonatkozásainak megítélésében és javításában. Mindez összességében a szokásos, és a szokásoson túlmenő, eredményesebb teljesítéshez vezethet, miközben a környezeti kockázatok csökkentésének gyakorlata beépül a vállalatirányítás szokásos tevékenységei közé.

Az ISO 14000 szabványsorozat több, mint 20 egyedi szabványt fog tartalmazni, melyeket a szabványokat kidolgozó szakbizottságok alapján lehet csoportosítani:

- környezeti menedzsment rendszerek,
- környezeti auditálás,
- környezeti címkézés,
- környezeti teljesítmény-értékelés,
- életciklus-elemzés,
- szakkifejezések és meghatározások.

Az ISO 14000 szabványsorozat az üzemi környezet-menedzsment eszköztárának eddigi legátfogóbb egységes gyűjteménye. Létrehozásában az alábbi célok játszottak döntő szerepet:

- Az egyes országok eltérő követelményrendszeréből, a különböző nemzeti szabványokból származó esetleges – nem vámjellegű – kereskedelmi korlátok minimalizálása.
- A környezeti menedzsment terén nemzetközileg egységes közelítésmód és egységes terminológia meghonosítása (hasonlóan az ISO 9000 szabványsorozat által a minőségügy terén elérthez).
- A vállalatok környezeti teljesítményének méréséhez és javításához használható eszközrendszer kialakítása, a vállalati alkalmazás segítése.
- Nemzetközi szinten egységes követelményrendszer kialakítása a környezetvédelemmel kapcsolatos tanúsítványok megszerzéséhez.
- A különböző hatóságok, fogyasztói szervezetek, partnervállalatok, stb. által kezdeményezett, illetve végrehajtott párhuzamos tevékenységek (auditálások, vizsgálatok, információigény, stb.) számának csökkentése.

Mint a fenti felsorolásból kitűnik, a szabványsorozat létrehozásában elsősorban az üzleti célok és a gazdasági realitás domináltak, a környezet állapotának javítása „csak” másodlagos célként, leginkább az elsődleges célok várt következményeként jelentkezik. (A tapasztalatok szerint ez a közelítésmód gyakran mégis hatékonyabban szolgálja a környezet állapotának javítását.)

3.7.1 Az ISO 14001 céljai és eszközei

A 14001-es nemzetközi szabvány egy Környezetközpontú Irányítási Rendszer (KIR) – másnéven környezeti menedzsment rendszer (KMR) – követelményeit írja le, oly módon, hogy alkalmazható legyen mindenféle típusú és nagyságú szervezetben, és igazodni tudjon különböző földrajzi, kulturális és társadalmi feltételekhez.

A megközelítés módszerét az 58. ábra szemlélteti. A szabvány az irányítási rendszer követelményeit a „tervezés, bevezetés, ellenőrzés és átvizsgálás” dinamikus ciklusos folyamat alapján építi fel.

**58. ábra: Környezetközpontú irányítási rendszer (KIR)
elemei az ISO 14001-ben [21]**

Egy ilyen típusú rendszer képessé teszi a szervezetet arra, hogy olyan eljárásokat hozzon létre, amelyekkel kitűzheti környezeti politikáját és céljait, értékelje ezek hatékonyságát, elérje teljesülésüket és igazolja mások számára is a teljesülést. A szabvány alapvető célja a környezetvédelem segítése, és a szennyeződés olyan mértékű megelőzése, ami egyensúlyban van a társadalmi-gazdasági szükségletekkel. A 14001 szabvány 4. pontja egy olyan követelményrendszer, amely megadja a tanúsítás, illetve regisztrálás követelményeit és felsorol egy szervezet KIR-ének önértékelésére vonatkozó követelményeket. A szabvány „A” melléklete és a 14004 olyan útmutatások, amelyeknek az a célja, hogy általános segítséget nyújtson egy szervezetnek KIR bevezetéséhez vagy továbbfejlesztéséhez.

A KIR 14001 szabványa csak olyan követelményeket tartalmaz, amelyeket objektíven lehet felhasználni audithoz tanúsítás/regisztrálás és/vagy önellenőrzési nyilatkozat céljaira. Átfogóbb útmutatást nyújt számos kérdésről az említett ISO 14004:1996 „környezetközpontú irányítási rendszerek. Az elvek, rendszerek és a

megvalósítást segítő módszerek általános irányelvei” szabvány. Ez a KIR elemeivel foglalkozik, és gyakorlati tanácsot ad egy ilyen rendszer bevezetéséhez vagy továbbfejlesztéséhez. Ezen túlmenően tanácsot ad a szervezeteknek arra nézve, hogy miképpen lehet hatékonyan bevezetni, tökéletesíteni vagy fenntartani egy környezetközpontú irányítási rendszert. Egy ilyen rendszer döntő jelentőségű ez szervezet azon képessége szempontjából, hogy meg tudja határozni és el tudja érni a környezet védelmével kapcsolatos céljait, továbbá biztosítani tudja, a nemzeti és/vagy nemzetközi követelmények folyamatos teljesítését. Más 14000-es ISO szabványok útmutatást adnak a környezetközpontú irányítást segítő módszerekre, mint például az LCA.

Lényeges, hogy a 14001-es szabvány nem tartalmaz abszolút követelményeket kibocsátásokra vagy hasonló környezeti kritériumokra. A hangsúly az elkötelezettségeken van, amelyek a környezeti politikában szerepelnek, a jogszabályok teljesítését illetik és a folyamatos javítást tűzik ki célul. A szándék az, hogy a szabványban rögzített követelmények szerinti KIR bevezetése jobb környezeti teljesítést eredményezzen. A követelmények azon az elgondoláson alapulnak, hogy a szervezet időszakonként átvizsgálja és kiértékeli a KIR-ét, hogy megkeresse a javítási lehetőségeket és bevezesse ezeket. A környezetközpontú irányítási rendszer javításának célja a környezeti teljesítés további javítása.

A KIR meghatározott folyamatot szolgáltat a folytonos javításhoz, amelynek ütemét és mértékét a szervezet a gazdasági és más feltételekből függően fogja kijelölni. Bár némi javulás a környezeti teljesítésben már a módszeres megközelítés alkalmazása folytán is várható, látni kell, hogy a KIR képviseli azt az eszközt, amely képessé teszi a szervezetet arra, hogy elérje és rendszeres ellenőrzése alatt tartsa a környezeti teljesítésnek azt a szintjét, amelyet maga állított önmaga elé. Egy KIR bevezetése és működtetése önmagában nem vezet szükségesképpen a káros környezeti hatások azonnali csökkentésére.

Ha a szervezet rendszeresen alkalmaz és bevezet több, környezetközpontú irányítási módszert, ez hozzájárulhat ahhoz, hogy az érdekelt felek számára az eredmény optimális legyen. A szabvány alkalmazása azonban önmagában nem garantálja az optimális környezeti eredményeket. Ahhoz, hogy a környezetközpontú célok elérhetők legyenek, a KIR-nek arra kell ösztönöznie a szervezetet, hogy megfontolja

adott esetben a legmegfelelőbb ismert módszer alkalmazását, ha ez gazdaságilag lehetséges. Ezen túlmenően is az egyes módszerek hatékonyságának és költségének viszonyát mindig szem előtt kell tartani. (Nem szükséges tehát a BAT alkalmazása, ami viszont az EMAS követelményei. "... tartalmaznia kell a környezeti teljesítmény ésszerű folyamatos fejlesztését célzó kötelezettségvállalást annak érdekében, hogy olyan szintre csökkentsék a környezeti hatásokat, amely nem haladja meg a legjobb rendelkezésre álló technológia gazdaságilag életképes alkalmazásának megfelelő szinteket.")

A környezetközpontú irányítás a szervezet általános irányítási rendszerének elválaszthatatlan rész. A környezeti kérdések beépítése az átfogó irányítási rendszerbe megkönnyítheti a KIR eredményes bevezetését, javíthatja a hatékonyságot és a szerepek világos áttekinthetőségét. Tervezése folyamatos, interaktív folyamati. A környezeti politika, valamint a célok és előirányzatok megvalósításához szükséges szervezeti felépítést felelősségi köröket, gyakorlatot, folyamatokat és forrásokat koordinálni lehet az egyéb területeken tett erőfeszítésekkel (pl. műveletekkel, pénzügyekkel, minőséggel, munkaegészségüggyel és biztonsággal). Lényeges azonban az, hogy a 14001-es szabvány nem foglalkozik a munkaegészségügyi és munkabiztonsági szempontokkal kapcsolatos követelményekkel, és ilyeneket nem is tartalmaz; de nem kívánja eltéríteni a szervezetet attól, hogy ilyen irányítási rendszer elemeket is bevezessenek. Maga a tanúsítási/regisztrálási folyamat azonban csak a KIR elemekre fog vonatkozni.

3.7.2 Az EMAS szabvány

Az EMAS teljes neve: 1836/93 számú (EGK) Tanácsi rendelet az iparvállalatok önkéntes részvételéről a Közösség öko irányítási és auditálási rendszerében.

Az EMAS szintén egy környezetközpontú irányítási rendszer, egy KIR, formáját tekintve azonban nem egy szabvány. Az EMAS-t az ipari szennyezéscsökkentés és kockázatsökkentés témakörébe sorolja az EU: A szabályozás formája regulation, vagyis közvetlenül alkalmazandó minden országban, nincs szükség arra – mint a direktívák esetében – hogy az egyes országok azt adaptálják és beemeljék saját jogi szabályozásukba.

Az EMAS az ipari tevékenységet végző vállalatok önkéntes részvételén alapuló európai uniós rendszer, melynek fő célja az ipari tevékenységek környezetvédelmi teljesítményének folyamatos javítása:

- a vállalatok által kiépített és bevezetett környezeti politika, környezetvédelmi programok és menedzsment rendszer által,
- ezen elemek rendszerezett, objektív és rendszeres auditja által,
- és azáltal, hogy információt szolgáltat a vállalat a közvélemény számára.

A résztvevő vállalatokkal szemben követelmények:

- elfogadják a környezeti politikát, amelynek azon túl, hogy az összes vonatkozó jogszabály betartását tartalmazza, magában foglalja a vállalat elkötelezettségét tevékenységének folyamatos javítására, és arra, hogy a vállalat által előidézett környezeti hatások nem haladják meg a gazdaságilag megvalósítható legjobb technológia által biztosított mértéket;
- elvégzik a telephelyre vonatkozó előzetes környezetvédelmi felmérést;
- környezetvédelmi auditokat tartanak az érintett telephelyeken;
- a céljaikat a vállalati vezetés legmagasabb szintjén jelöli ki;
- a telephelyek mindegyikére környezetvédelmi nyilatkozatot készítenek;
- a környezeti politikát, menedzsment rendszert, előzetes felmérést, átvilágítási eljárást és a környezetvédelmi nyilatkozatot – a rendelet szóhasználatával – „verifikáltatják”, igazoltatják, amely biztosítja, hogy azok megfelelnek a rendeletben előírt követelményeknek;
- az igazolt környezeti nyilatkozatot eljuttatják az illetékes testülethez és azt terjesztik a nagyközönség körében is.

Az igazolónak függetlennek kell lennie az átvilágítást végző auditortól. A környezetvédelmi nyilatkozatnak közérthető formában információkat kell szolgáltatnia a vállalat tevékenységéről, a jelentősebb környezeti hatásokról, összefoglaló adatokat kell közölnie a szennyezés kibocsátásáról, a keletkező hulladékokról, a nyersanyag felhasználásról, az energia- és vízfelhasználásról, a zajkibocsátásról és az esetleges más környezetvédelmi szempontokról, le kell írnia a vállalat környezeti politikáját, programját és menedzsment rendszerét; tartalmaznia kell a következő nyilatkozat kibocsátásának határidejét és a tanúsító nevét.

3.7.3 Az ISO 14001 és az EMAS összehasonlítása

Az ISO 14001 szabvány és az EMAS rendelet és követelményei között meglévő legfontosabb különbségeket a következő táblázat foglalja össze:

Szabvány / rendelet	ISO 14001	EMAS
Érvényesség	Nemzetközi	EU
Alkalmazható	Bármilyen szervezet	Ipar (NACE)
Tanúsítható / regisztrálható egység	Logikus szervezeti egység	Követelmény
Kezdeti környezeti állapot felmérése	Nem követelmény	Követelmény
Körny. politika	Követelmény	Követelmény, részletes specifikáció
Belső audit ciklus	Nincs meghatározva	Max. 3 év
Belső audit specifikáció	A 14010-12 szabványokban	Részletes specifikáció, hivatkozás 14011
Környezeti jelentés	Nem követelmény	Követelmény, részletes specifikáció, kulcsszerep a regisztrációban
Szerkezet	Logikus, jól áttekinthető, „felhasználóbarát”	Bonyolult, nehezen áttekinthető
Részletes útmutatás, segítség az alkalmazáshoz	Részletes magyarázatok a mellékletekben, 14004 útmutató	Minimális segítség a mellékletekben
Általában	Kevésbé szigorú követelmények	Bővebb, részletesebb, szigorúbb követelmények

4. KÖRNYEZETI IPAR, KÖRNYEZETI TECHNOLÓGIÁK

A környezeti ipar tulajdonképpen a környezetvédelmi berendezések (füstgáztisztítók, szennyvíztisztítók) tervezésével és gyártásával, valamint komplett kárelhárítási, hulladékkezelési módszerek, technológiák kidolgozásával, gyártásával és üzemeltetésével, valamint környezeti szolgáltatásokkal foglalkozik.

A környezeti eszközök és szolgáltatások 14 %:80 % arányban oszlanak meg a hazai környezeti ipar kínálatán belül, ami a szolgáltatások túlsúlyát mutatja. Budapesten még ennél is nagyobb a szolgáltatások aránya (84 %). Az integrált környezeti technológiák száma és aránya csekély (6 %).

A környezetvédelmi eszközök termelése terén ugyan a víztisztítás és az egyéb folyékony szennyezések kezelésének eszközei vannak túlsúlyban, de még ezek is kis számban fordulnak elő (30 cég). Ennek magyarázata az lehet, hogy a víztisztítás területén viszonylag kis számú nagyvállalat működik, amint azt az OECD elemzései is kiemelik.

Nemzetközileg is ez a legfejlettebb környezeti szektor, hatalmas nemzetközi cégekkel és a magas beruházási költségekből adódó belépési korlátokkal. A szektor léte és fejlődése elsősorban a kormányzati kiadásoktól függ, valamint attól, hogy a termelő szektor mennyire tartja be a környezeti szabályozásokat.

A hulladékkezelés és újrafeldolgozás eszközeinek gyártása a második legnagyobb szegmens a környezeti eszközök gyártásán belül (18 cég). Méretét tekintve csaknem az összes OECD országban ez a második legnagyobb környezeti iparát. Az iparág zömét a hulladék-újrahasznosító technológiák és termékek, valamint az új és tisztább technológiák és termékek képezik. [17]

A szilárd hulladék - főleg a veszélyes hulladék – kezelésének és újrafeldolgozásának új módszereitől az elkövetkező néhány évben 5 százalékos nemzetközi növekedést várnak a szektorban. Középtávon a növekvő eljárási díjak megteremtik a fejlesztésekhez szükséges nagyobb forrásokat. Hosszú távon az új szabályozási megközelítés következtében (ami támogatja a szennyezés megelőzését és a hulladékminimalizálást) a szektor szerkezete meg fog változni. Egyre inkább a „tisztább technológiák” fogják helyettesíteni a tisztítást és az újrafeldolgozást az

iparban. A települési hulladékok gyűjtése és kezelése terén a feladatok növekedni fognak, a szelektív hulladékgyűjtés és hasznosítás eszközeinek, technológiáinak előállítása terén fellendülés várható.

A feladat súlyához képest indokolatlanul alacsony a légszennyezés ellenőrzés és csökkentés eszközeinek előállításával foglalkozó hazai cégek száma. Ez a szektor nemzetközileg is néhány globális cégre koncentrálódik (a legnagyobbak amerikaiak). Középtávon a szektort fellendíthetik a levegőszennyező vagy atmoszférát károsító gáz kibocsátás csökkentését, stabilizálását célzó nemzetközi egyezmények (Klíma Egyezmény, Montreali Jegyzőkönyv, stb.) A nemzetközi kereskedelem, a technológiatranszfer előreláthatóan növekedni fog ezen a területen.

Zajcsökkentő eszközök, valamint a megfigyelő, a kutatási és mérőeszközök gyártása hasonlóan kismértékű hazánkban, ezeket a területeken szinte kizárólag import termékeket alkalmaznak.

Az energiatakarékosságot és a megújuló energiaforrások hasznosítását szolgáló eszközök gyártása Magyarországon még nem jellemző. Nemzetközileg ennek a szektornak az 1970-es években az első olajválság adott jelentős lendületet. A várakozások szerint még fejlődni fog, de ennek pontos meghatározása bonyolult. Az igények sokkal inkább az ipar és a háztartások tényleges szükségleteitől függenek, mint a környezeti szabályozásoktól. A megújuló energia (nap, biomassza, szélenergia, stb.) esetében a fejlesztés és a beruházás jelentős költségeivel kell számolni a jövőben.

Magyarországon a környezetvédelmi eszközök, technológiák gyártásával foglalkozó cégek zöme mikro- illetve kis- és középvállalkozás. A nyugat-európai környezettechnikai vállalkozásoknak csak 47 %-a éli túl az öt évet, és csupán 35 %-uk marad talpon 10 év után is. Az életben maradás feltétele, hogy a vállalkozás az egész piaci láncolatot átfogja, ami kiterjed a tervezés, koncepcionálás, elemzés, tanácsadás, kivitelezés, beüzemeltetés, szervízelés, garancia fázisaira. Saját mérnöki iroda és szolgáltatói hálózat nélkül nem lehet a piacon eredményeket elérni.

A környezeti iparban nemzetközi viszonylatban a koncentrációs folyamat további erősödésére lehet számítani, főleg a hulladékgazdálkodásban, az energetikai környezettechnikában, a vízgazdálkodásban és az újrahasznosítás területén.

E jegyzet keretei között továbbra is fenntartva az ismert technológiák szemelvényyszerű bemutatásának gyakorlatát, a következőkben részletesebben is

ismertetünk néhány környezetvédelmi – főleg kárelhárítási és hulladékkezelési – eljárást. Visszaulva itt arra, hogy a biotechnológiák ismertetése során már tárgyalt komposztálási, valamint az energiaipar címszó alatt részletezett biogáz előállítás ide is sorolható.

4.1 Olajkár elhárítás

Számos oka lehet annak, hogy olaj kerül a talajba. Említhetők az olajtartályok, olajvezetékek szivárgása, törése következtében bekövetkező talajszennyeződések, az olajjal dolgozó ipari technológiák során kiömlő, elszivárgó olaj okozta talajszennyeződés.

Az olaj talajbani mozgásnál alapvető különbséget kell tenni az olajnak, mint fázisnak szétterülése és a vízben oldott olaj mozgása között. Amíg ugyanis az oldott anyagok a szivárgó- és talajvízzel együttesen vándorolnak, addig az olaj laza közetekben, talajokban összefüggő olajtestet képez.

Ha olaj hatol be a talajba, lényegében a nehézségi erő hatására húzódik lefelé és ún. olajtest alakul ki, melynek alakja és nagysága a talaj és az alatta elhelyezkedő földtani összlet nemétől és szerkezetétől, valamint az olaj mennyiségétől és fizikai tulajdonságaitól függ.

Ha a beszivárgott olajmennyiség meghaladja a szivárgási tartomány olajvisszatartó képességét, akkor az olaj egészen a talajvízig hatol. Elegendő nyomás esetén az elszivárgási hely alatt behatolhat a talajvízbe, ez esetben a kapilláris zónában vízszintesen szétterül. Ha az olaj a nyomás miatt közvetlenül behatol a talajvíztartó rétegbe, akkor a nyomás kiegyenlítődése után gyorsan felemelkedik a talajvíz felszínéig és egyensúlyi helyzetet vesz fel a kapilláris sávban, elsősorban a talajvízáramlás irányában.

Áttekintve az eddigieket, megállapíthatjuk, hogy amíg a szivárgási tartományban az olajbeszivárgás befejeződése után csak a talajszemcsékhez adszorbeált (viszonylag kis mennyiségű) olajtartalom van jelen, addig a kapilláris sávban a szabad olajmennyiségek feldúsulnak és mozgásukat korlátozza a kapilláris erő hatása. Míg a szivárgó sávban viszonylag gyorsan mozog az olaj, addig a kapilláris sávban hónapok múlva, sőt évek múlva is maradnak nagyobb olajmennyiségek.

Következésképpen a kapilláris zóna a kárelhárítás szempontjából egy jeles hely.

A régebben bekövetkezett nagy olajbalesetek esetén ebből a zónából lehet eltávolítani nem egyszer tekintélyes olajmennyiséget. Ugyanakkor a szennyeződés nem rögzül az olajlencséhez, mert a csapadék az adszorbeált olajból, a talajvíz pedig az olajlencséből old ki olajkomponenseket.

Szen a talajvíz-tartományig ér el, akkor az áramló talajvíz old ki olajkomponenseket és azokat magával ragadja. A kioldott olajmennyiség függ az érintkező felületektől, a víz áramlási sebességétől, a víz telítettségi fokától és az olajfajta milyenségétől.

Figyelembe kell venni azt is, hogy az olajtestből a kis forrpontú, könnyen illó üzemanyagok a talajban is viszonylag könnyen párolognak. A felszín alatti párolgás függ az olajtermék minőségétől, a nyomástól, a hőmérséklet-gradienstől és a talaj áteresztő képességétől. A szivárgási tartományban elhelyezkedő olajtest körül tehát szénhidrogén-gőzökből álló olajpárna fog képződni. Hasonlóképpen a talajvízen elfekvő olajlencse felett is kialakul ez a gázburok. Minthogy a gázosodó üzemanyag-gőzök a levegőnél nehezebbek, ezek zömmel a kapilláris sáv feletti rétegben helyezkednek el, mint ahogy az 59. ábra mutatja. Mindebből következik, hogy ezek a gázok a szivárgó tartományban vándorló vízben oldódnak és növelik a talajvíz szennyeződését.

A kármentesítési megoldás kiválasztásánál figyelembe kell venni, hogy a mentesítendő területnek és az azokon lévő létesítményeknek a kárelhárítási tevékenységek ideje alatt is el kell-e látni eredeti funkciójukat (pl. közút, vasút, repülőtér, gyárterület, raktár esetén).

Megfontolás tárgyává kell tenni továbbá a szakhatósági és a lakossági (önkormányzati) akceptálhatóság kérdését is. (Tájékoztatás, felvilágosítás, döntéshozatalba való bevonás, konfliktuskezelés). Nyilvánvaló, hogy azok a környezetkímélő kárelhárítási megoldások élveznek prioritást, melyek legkevésbé károsítják a természeti értékeket, a tájképi és épületkörnyezetet, a területek használati értékét és a keletkezett melléktermékeket a természeti vagy a társadalmi körforgásba ártalommentesen (biológiai lebontás vagy hasznosítás útján) vezetik vissza.

A kárelhárítás eredménye szerint három – éles határokkal el nem választható – célállapotot tűzhetünk ki:

- A szennyezés továbbterjedésének megakadályozása, az ún. lokalizáció;
- A részleges mentesítés, pl. az olajfázis (olajlencse) kitermelése;
- A terület teljes ártalmatlanítása.

Itt a környezetvédelmi szempontból legkorrektebb harmadik célállapot elérését biztosító technológiai rendszerekből mutatunk be egyet-egyet.

Előtte azonban célszerű áttekinteni az olajkárelhárítási eljárásokat / 60. ábra /, valamint azt a folyamatsort / 61. ábra /, amelyet a hazai gyakorlatban eredményesen alkalmaznak a bonyolult négyfázisú (talaj, víz, olaj, gáz) rendszer kezelésére.

61. ábra: Olajkár elhárítása a talajban (talaj, víz, olaj, gázfázisú rendszer kezelése) [11]

4.1.1 Ex-situ biológiai talajregeneráló eljárások

Az Ex-situ eljárásnál a szennyezett talajt kiemelik és a kezelő telepre szállítják.

UMWELTSCHUTZ-NORD eljárás

Az UMWELTSCHUTZ-NORD eljárása a szennyezett talajból való mintavétellel kezdődik. A laboratóriumban a talaj fizikai, kémiai vizsgálata mellett meghatározzák a káros anyagok fajtáját és mennyiségét, valamint a talaj meglévő biomasszáját, ennek biológiai aktivitását és az aktivitás fejlesztéshez szükséges segédanyagokat. A laboratóriumi eredmények határozzák meg a technológia paramétereit, így a szerves adalékok, tápanyagok, nyomelemek mennyiségét, illetve a nedvességtartalmat és az átlapátolás gyakoriságát, stb.

A talajkezelés sémáját a 62. ábra mutatja. A kiemelt talajt szortírozzák a fémhulladékok, a kövek és a talaj szétválasztásával. A fémhulladékok különválasztása után az ún. „vakond” nevű csigakerekes célgéppel történik a talaj homogenizálása.

62. ábra: Biológiai talajgeneráló rendszer folyamatábrája (UMWELTSCHUTZ-NORD) [11]

Az időközben elkészült laboratóriumi eredménynek (bioteszt- és optimalizációs program) ismeretében ebbe a homogenizálóba adagolják a szerves anyagokat (szalma, fűrészpor, faforgács, stb.), szubsztrátot, a tápanyagokat, a nyomelemeket, a mikroorganizmusokat és az esetleges oxidálószerkeket. Az így képzett homogenizált földkeveréket a helyszínen felállított 40 x 20 m-es könnyűszerkezetes sátorban terítik el, célgépek segítségével. A sátrak mérete tetszés szerint növelhető.

Az optimalizációs rendszer szabja meg a bioágyak magasságát, a szükséges nedvességtartalmat és az átforgatás gyakoriságát. Újabb laboratóriumi kontroll eredményei, újabb tápanyag, mikroorganizmus és oxidálószer hozzáadását kívánhatják meg.

A sátorban való fermentálás ideje 3-5 hónap. Ekkor az ágyak tartalmát visszatelepítik a kívánt területre, ahol laboratóriumi ellenőrzés után előkészítik a talaj újrahasználatát. Biológiai vizsgálatok jelölik meg azokat a fűféléseket, haszonnövényeket vagy gabonaféléket, melyeket már az első évben is a regenerált talajon termesztetni lehet.

BIONÖR eljárás:

Az olajbontást végző baktérium kultúra szaporítását a helyszínen 1 m³-es tartályban végzik. A tartályok levegőztetése porlasztott levegővel történik. Az Országos Közegészségügyi Intézet által jóváhagyott vegyes BIOMIX_{OIL} baktériumkultúrát szervesetlen makrotápanyagokat és nyomelemeket tartalmazó tápoldatban 1 l/m³/nap mennyiségben adagolt szubsztráton szaporítják. Kb. 10 napi folyamatos fermentációt követően a baktérium csíraszám a talaj inokulálására alkalmas koncentráció értéket éri el.

A kezelendő talajt homogenizálják, az optimális C, N, P arány biztosítására a talajhoz 33 %-os NH₄NO₃, N,P,K és nyomelem tartalmú műtrágyát kevernek. Az első keverés során a kezelendő talajba a műtrágya mellett, 10 % fakéreg egyenletes bejuttatására is sor kerül.

A kezelendő talaj kötöttségétől, illetve a szennyező komponensek minőségétől és koncentrációjától függően eltérő prizmaépítési technológiát alkalmaznak. A talajkezelő rendszer szerkezeti felépítését a 63. ábra mutatja.

63. ábra: A BIONÖR talajkezelő rendszerének szerkezeti felépítése [11]

4.1.2 In-situ talajregeneráló eljárások

Az in-situ eljárásokat akkor alkalmazzuk, ha ezt a hidrogeológiai körülmények még engedik, a mentesítendő területnek és az azokon lévő létesítményeknek a kárelhárítási tevékenységek ideje alatt is el kell látni eredeti funkciójukat (pl. közút, vasút, repülőtér, gyárterület, raktár).

Megfelelő feltételek esetén ez a hatékonyabb megoldás.

Talajlevegőztetés

Az egyszerű talajlevegőztetésre a CARO GmbH módszerét mutatjuk be. Az eljárás kizárólag a talajvíz feletti zónában lévő illékony szénhidrogének kilevegőztetésére szolgál. A feltárás során behatárolt szénhidrogén-szennyeződést levegőztető és légelszívó lándzsák segítségével távolítják el. A rendszer mozgását szívó-nyomó ventilátor egységek végzik el. A 64. ábrán látható, hogy a szívólándzsák végét a szennyezés fölé, a levegőztető lándzsák végét pedig a szennyezés alá helyezik el. A szennyezett területet takaró fóliával védik a csapadékvíztől. Az elszívott levegőt bioszűrőn, majd aktívszénszűrőn vezetik keresztül.

Vízfázis tisztító eljárás

Az in-situ rendszerre a SCHÜRFAG GmbH vízfázis forgató eljárását mutatjuk be.

A 65. ábrán bemutatott eljárást akkor alkalmazzák, ha a talajvíz csak oldott szénhidrogén-szennyezést tartalmaz. Az eljárás lényege, hogy a szennyezett talajvíz nyugalmi szintje alá szívókutat, illetve nyelőkútsort telepítenek. A szívókútból kitermelt szennyezett talajvizet vas-mangántalanítón, majd egy bioreaktoron vezetik keresztül. A bioreaktorból távozó vizet különböző vegyszerek hozzáadása után a nyelő kútsoron keresztül visszanyomatják a talajba. A cirkuláló a víz és a talaj teljes, vagy igény szerinti megtisztításáig tart. Ha a talajvíz felszínén úszó olajfázis van, úgy egy fázis elválasztó rendszert iktatnak a csapadék elválasztó műtárgy elé.

65. ábra: Nyelőkutak elhelyezése a SCHÜRFAG eljárással [11]**Enzimes technológia**

Nagy lépéssel ment előre a hazai talaj és talajvíz tisztítás terén az ELGOSCAR INTERNATIONAL Kft.

Amerikai kutatók – hadiipari tapasztalatok alapján – bevezették egyes vegyületek enzimkatalizált tisztítását. Köztudott, hogy a biológiai lebontás során a mikroorganizmusok enzimet bocsátanak ki, hogy ennek segítségével a szerves anyagokból táplálékhoz jussanak.

Az ELGOSCAR INTERNATIONAL Kft. Rendkívül jó eredménnyel tudta Amerikából beszerzett enzimek segítségével a kőolaj féleségek lebontását elvégezni, sőt szubsztituált szénhidrogéneket, PCB-eket is. Az ELGOSCAR technológia sémáját a 66. ábra mutatja.

66. ábra: Az ELGOSCAR-technológia folyamatábrája [11]

4.2 A hulladékkezelés termikus eljárásai

A termikus eljárásokat tehát két csoportra osztjuk:

- Oxidatív lebontás sztöchiometrikus vagy többszörös oxigén (levegő) adagolásával (égetés)
- Reduktív lebontás a sztöchiometrikus aránynál kisebb oxigén biztosításával vagy annak teljes kizárása mellett (pirolízis)

A hulladékégetés (energetika hasznosítás) a hulladékok ártalmatlanításának egyik módszere, mely világszerte a környezetvédelmi viták központjában áll, számos előnyének, illetve hátrányának komplex értékelése mellett.

A hulladékégetés előnyei:

- A keletkező hulladékok térfogatát és tömegét jelentősen csökkenti (ezáltal kisebb anyagmozgatás, kisebb elhelyező terület, földhasználat szükséges)
- Az égetés energiatermeléssel jár, a keletkezett hő hasznosítható
- Az eljárás közegészségügyi szempontból a leghatékonyabb, mivel a kórokozók elpusztulnak

A hulladékégetés hátrányai:

- Az égetés másodlagos környezetszennyezéssel jár (légszennyezés, pernye, salakelhelyezés problémái)
- Ökológiai szempontból kedvezőtlen, mivel a termikusan bontott anyag kikerül a természetes körforgásból
- Beruházási és üzemeltetési költségei lényegesen magasabbak a hagyományos eljárásoknál (komposzt, biogáz, lerakás)

A hulladékégetés exoterm folyamat. Az égetés során a hulladék szervesanyag komponensei a levegő oxigénjével reagálva gázokká, vízgőzzé alakulnak és füstgázként távoznak a rendszerből. Az éghetetlen szervesetlen anyag salak, illetve pernye alakjában marad vissza.

A hulladékégetés során a gyakorlatban a legkülönbözőbb típusú és kémiai összetételű anyagokat kell elégetni. Ez az égetési viszonyokat nagymértékben bonyolulttá, az égési reakciót pedig rendkívül heterogénné teszi.

A kifogástalan elégetéshez

- megfelelő hőmérséklet,
- megfelelő áramlási viszonyok,
- tartózkodási idő,
- valamint a szokásosnál nagyobb mennyiségű levegő bevezetése szükséges.

A kívánt minimális tüztérhőmérséklet $850\text{ }^{\circ}\text{C}$, a légfelesleg-tényező értéke 1,5-2,5 a füstgázoknak a tüztérben való tartózkodási ideje 2-3 s szilárd hulladékok és 0,5-1 s folyékony hulladékok égetésekor, a minimális oxigéntartalom eközben 6 %. A megfelelő áramlási viszonyok egyrészt mechanikai eszközökkel (mozgó rostélyok, forgó kemence, bolygatószerkezet), másrészt aerodinamikai módszerekkel (gázáramok irányított mozgatása) teremthetők meg.

A legtöbb hulladékégetőben a szervesetlen maradékok (salak, pernye) lágyulás-oladási jellemzői miatt a tüztéri hőmérséklet nem haladja meg az $1050\text{--}1100\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ot. Az égetés $1200\text{--}1700\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on is végezhető, ekkor beszélünk salakolvasztásos hulladékégetésről. Ekkor a szilárd maradék olvadásként távozik az égéstérből.

Az égetés szilárd maradékanyagának mennyisége az elégetett hulladék típusától függ. Szilárd települési hulladék égetésekor a maradék mennyisége kb. 10 tf%, valamint 30-35 (salakolvasztásos tüzelésnél 15-25) tömeg %, folyékony és iszaphulladék égetésekor pedig átlagosan 2-10 tömeg%.

A hulladékégetéses ártalmatlanításhoz a következők ismerete szükséges.

- halmazállapot (folyékony, pasztás, szilárd, ill. kevert);
- elemi analízissel megállapított kémiai összetétel (szén-, hidrogén-, oxigén-, nitrogén-, kén-, víz- és hamutartalom);
- gyors analízissel megállapított összetétel (fix szén-, illóanyag-, víz- és hamutartalom);
- fűtőérték;
- sűrűség;
- a hamu olvadási jellemzői;
- szilárd hulladék esetében szemcseméret-elosztás, maximális darabnagyság, valamint anyagfajták szerinti összetétel;
- folyékony hulladék esetében viszkozitás, gyulladási- és lobbanáspont, valamint szilárd szennyezőanyag-tartalom és annak legnagyobb szemcsemérete, továbbá a kémhatás;
- halogénanyag-tartalom (kloridok, fluoridok, bromidok);
- nehézfém-tartalom (ólom, kadmium, higany, réz, vanádium, stb.);
- egyéb mérgezőanyag-tartalom (PCB);
- egyéb specifikus anyagi tulajdonságok szükség szerint (pl. fertőző tulajdonság, hőmérséklet, stb.);

- mennyiségi adatok (szélső határok és átlagértékek);

Tüzeléstechnikai szempontból elsősorban a kalorikus tulajdonságok fontosak (fűtőérték, éghetőanyag-tartalom, víztartalom és hamutartalom);

4.2.1 Hulladékégetés forgódobos kemencében

A kommunális szilárd, de főként ipari veszélyes hulladékok égetésére leggyakrabban forgódobos kemencét használnak. Egy ilyen kemence szerkezetét mutatjuk be vázlatosan a 67. ábra segítségével.

67. ábra: A forgódobos kemence felépítésének vázlata

1-adagológarat szilárd anyag számára; 2-hidraulikus adagológép; 3-csigás adagoló iszapok számára; 4-a kemence fejrésze; 5-kifalazott forgódobos kemence; 6-utóégető tér; 7-folyékony hulladék égetése; 8-nedves rendszerű salakkihordó; 9. hajtómű

A forgódobos kemence

A forgódobos kemence tűzálló falazattal kibélelt hengeres tüztér, amely a vízszinteshez képest enyhén lejt és lassan forog. A fordulatszám és a dőlésszög változtatásával szabályozható a hulladék tartózkodási ideje. Az anyagi jellemzőktől függően a hulladék kiégetési időtartama a kemencében 15-70 min. A kemencébe

táplált anyag folyamatosan keveredik, a keveredés során fellazult anyagból a bomlási és égési gázok gyorsan távoznak és ezáltal a viszonylag kis dobhőmérsékleten is gyors és egyenletes égés érhető el. A hulladék mozgása a dobban kétirányú. Egyrészt a henger palástjával együtt mozog, majd visszacsúszik, miközben tengelyirányban is elmozdul. Az égéságy és a falazat közötti súrlódás következtében az ágy keresztmetszetében elnyúlik és konkáv formát vesz fel, ami által megnő az égéságy aktív felülete is. Ez a kétirányú mozgás az anyagforgalom és a tökéletes elégés szempontjából is nagy jelentőségű.

A hulladék és a füstgázok áramlási iránya egyenáramú üzemmódot eredményez, ami a szárítási-gyulladás zónából származó bomlási termékek forró zónán való átvezetését teszi lehetővé, és így lényegesen javul a kiégés hatásfoka. A 68. ábra a forgódobos kemence termodinamikai viszonyait ábrázolja.

Az égési zónában felszabaduló hő a dob tűzálló falazatát felhevíti és a dob elfordulás révén az elégetendő hulladék alá fordul. Ez fokozza a beadagolt anyag előmelegítését és kigázosodását, valamint hatásos kiégetését. Így a hőátadás konvektív és sugárzós úton egyaránt végbemegy és bizonyos esetekben az anyag hevülési sebessége elérheti a 90-100 °C/s értéket is.

68. ábra: A forgódobos kemence hőmérsékleti szakaszai [11]

a-vízgőz, b-éghető anyag, c-salak, d-salakolvadék, e-falazat

A dob végén a kiégés folytán keletkezett füstgázok nagy mennyisége és a hőmérséklet növekedése miatt az áramlási ellenállás olyan belső turbulenciát eredményez, amely az égetési folyamatot jelentősen segíti. Ezáltal a gázáramban jelenlévő még éghető gázok és gőzök által elragadott pernye teljes kiégetése is elérhető. A jó turbulencia ellenére sem biztosítható azonban mindenkor az égésgázok tökéletes kiégetése magában a tüztérben, ezért a forgódobhoz 900-1000 °C hőmérsékleten üzemelő utóégetőtér csatlakozása általában nem nélkülözhető. Itt az égésgázokat biztonságosan olaj- vagy gázégőkkel égetik el. Az utóégetőtérben folyékony hulladék elégetésére nyílik lehetőség. Az utóégetőtér többnyire négyszög keresztmetszetű. Újabban az optimális áramlási viszonyok érdekében kör keresztmetszetű utóégetőterek kialakítását szorgalmazzák.

A forgódobos kemence fejrésznél adagolják be a hulladékot, a póttüzelőanyagot és az égéslevegőt. A dob mintegy 20 térfogat %-ig folyamatosan tölthető fel hulladékkal. A salakot nedves rendszerű salakkihordóval távolítják el. A forgódobos kemencében a levegő tényező szerkezeti okok miatt igen nagy (átlagosan 2-25%). Ez jelentősen növeli a ventilációs energiaigényt. A kemence szokásos tüztérhőmérséklete 900 °C. Salakolvasztásos üzemben a falazat védelmére vékony védő salakréteg előzetes felvitele szükséges. A védő salakréteg vastagsága a tüztér terhelésétől, a salak olvadáspontjától és a tüztér hőmérsékletétől függ. Általában 150-200 mm-es (max. 400 mm) rétegvastagságot alakítanak ki. Az egyenletes salakréteg fenntartásához a hulladékot homogenizálni kell és adalékanyag (pl. homok, szűrőföld) alkalmazására van szükség.

Szerkezeti megfontolásokból a dob legnagyobb átmérője 3,5-4 m, hossza pedig 8-12,5 m. A szokásos legnagyobb hőteljesítménye 60-65 GJ/h, ami a hulladék fűtőértékétől függően 2-6 t/h teljesítménynek felel meg. Ennél nagyobb átbocsátási teljesítmény is elérhető ugyan a fűtőértéktől függően – max. 8-10 t/h -, azonban ebben és az e fölötti teljesítménytartományban a kedvezőtlen hő- és anyagátadási folyamatok miatt az az égési folyamat már nem megy végbe tökéletesen. Az utóégetéssel együtt hőteljesítmény ennél lényegesen nagyobb lehet, elérheti a 110-120 GJ/h nagyságot is.

A 69. ábrán veszélyes hulladék égetésre alkalmas regionális égetőrész folyamatvázlata látható.

**69. ábra: A forgódobos kemencével felszerelt korszerű veszélyes
hulladékégető mű [10]**

A-folyékony hulladék beszállítása és lefejtése; B-szilárd és iszaphulladék beszállítása; C-hordóshulladék-feladás; D-tápvíz; E-tisztított füstgáz; E-tisztított füstgáz; F-iszaplepeny; G-tisztított szennyvíz; H-salak és pernye.

1-folyékony hulladéktároló tartályok, homogenizáló és fűtőolajtartály; 2-szilárd hulladék bunker; 3-iszapulladék bunker gőzfűtéssel; 4-hulladékadagolás; 5-forgódobos kemence; 6-utóégető tér; 7-kazán; 8-elektrofilter; 9-füstgázmosó; 10-füstgáz-újrahevítés; 11-kémény; 12-szennyezett mosóvíz tisztítása; 13-szennyvíz utókezelés; 14-kamrás szűrőprés; 15-turbina generátorral; 16-léghűtő kondenzátor; 17-tápvíz-előkészítés; 18-salak- és pernyekihordás

4.2.2 Biomassza égetése, energetikai célú hasznosítása

A mező- és erdőgazdasági növényi hulladékok (kukoricaszár és csutka, nád, venyige, nyesedék, fakéreg, stb.) fűtési célú eltüzelése ősi eredetű. A technikai fejlődés, az urbanizáció, az emberek komfortigényének növekedése a XX. század végére azonban szinte kiszorította a hagyományos tüzelőanyagok használatát.

Az ipari fejlődés, az elektromos energia előállítás és a távhőszolgáltatás párosult a szén, kőolaj és földgáz tüzelőanyagú egyedi fűtőberendezések gyorsütemű elterjedésével, valamint a benzint és gázolajat fogyasztó közlekedés és szállítás térnyerésével.

Ezek a területeken a hosszú ideig olcsó fosszilis energiahordók felhasználása vált uralkodóvá, ami a Föld ásványianyag kincsének veszélyes mértékű fogyását és a környezeti terhelés nagymértékű növekedését váltotta ki.

Az 1970-es évek kétszeri olajárrobbanása figyelmeztette igazán először az emberiséget a korlátlan szénhidrogén-felhasználás veszélyeire. A megújuló energiahordozók – kiváltképpen a biomassa – energetikai célú hasznosítása a nemzeti és nemzetközi energiagazdálkodási programok meghatározó elemévé vált. Az EU tagországok 2010-re a jelenlegi 3-6 %-ról 12 %-ra, Magyarország ezen idő alatt a jelenlegi 3 %-ról legalább 6 %-ra kívánja növelni a megújuló energiahordozó részarányát energiafelhasználásban.

A biomassa potenciál ennél sokkal nagyobb arányú felhasználás bővítését is lehetővé tenné, de kellőtámogatás hiányában ma még nem elég versenyképes. Az alkalmazási részarány jelentős növelését váltja ki, ha a kutató-fejlesztő tevékenység eredményeképpen megfelelő tüzelőberendezések, felhasználási rendszerek referenciái közismertté válnak. Természetesen elősegítheti a biomassa tüzelés versenyképessé válását az is, ha a fosszilis energiahordozók árai jelentősen növekednek (pl. a 2000. évi olajárrobbanás).

A biomassa alternatív energiahordozóként történő alkalmazásának lehetőségeit csökkenti egyfelől a célberendezések hiánya, illetve az a körülmény, hogy ezek a potenciális tüzelőanyagok kis energiasűrűségben, elszórtan találhatók, és így összegyűjtésük, tárolásuk meglehetősen költséges (sőt esetenként jelentős primer energiát igényel). Ez a hátrány lehet egyik oka annak, hogy az 1970-es, 80-as évek ezirányú fejlesztéseinek a középpontjában a hagyományos tüzelőberendezésekben is elégethető biomassa tüzelőanyag előállítása (brikettálás, granulálás, aprítás, stb.) kifejlesztése állt, ami a tüzelőanyag előállítást megdrágította, versenyhátrányba hozta. Így a látványosnak mondható eredmények csak ott jelentkeztek, ahol az adott ország (pl. Ausztria) gazdasága – tisztán környezetvédelmi szempontok alapján – kompenzálni tudta a többletráfordítást.

Új lendületet adhat a folyamatnak, hogy a műszaki és környezetvédelmi támogatottság mellett egyre szélesebb gazdasági és politikai támogatást is kap a biomasszatüzelés fejlesztése.

Az utóbbi két évtizedben számos biomasszaégető berendezést és eljárást fejlesztettek ki és feltételezhető, hogy e területen folyó K+F tevékenység az új Hulladékgazdálkodási törvény kapcsán hazánkban is nagy lendületet vesz.

Itt csupán egy kis és közepes teljesítményű biomészégető berendezést mutatunk be (amelyet a Miskolci Egyetem Tüzeléstani Tanszékének, valamint a Széchenyi István Főiskola Környezetmérnöki Tanszékének oktatói fejlesztettek ki). [28]

A „**farmer-kályha**” lazaszerkezetű növényi hulladékok elégetésére, több funkcióra – fűtés, szárítás, melegvízellátás, stb. – alkalmazható, 10-50 kW közötti hőteljesítmény-tartományban építhető tüzelő- és hőhasznosító berendezés / 70. ábra/. Ebből kiindulva, a hozzáférhető tudományos és alkalmazástechnikai információkat felhasználva a kazáncsalád a többcélú felhasználhatóság követelménye mellett azt az igényt is kielégíti, hogy a füstgáz minimális CO-t és PAH vegyületeket tartalmazzon. Ezt a célt egy speciális tűzállóanyagból kialakított kétfokozatú – szekunder levegő bevezetésére és a szükséges hőmérséklet elérésére alkalmas – tűztér biztosítja.

A berendezés szerkezeti kiképzésének vezérelve, hogy a környezetszennyező PAH-komponensek elégetése folyamatosan nagy hőmérsékleten lévő térben megy végbe, amelyet nagy hőkapacitású tűzállóanyaggal bélelt primer tűztér biztosít. Ez meggyorsítja a nyers tüzelőanyag száradását és biztonságos újragyújtását is elősegíti. A tűztérben lévő éghető gázhalmazállapotú komponensek jobb keveredése érdekében a primer tűztér felfelé szűkül, a legkisebb szelvényben vezetjük be a tökéletes égéshez szükséges szekunder levegőt. Az égés a szekunder levegőbevezetés fölötti, felfelé bővülő utóégetőben fejeződik be, majd a füstgázok közvetlenül a hőcserélőbe lépnek.

A viszonylag kicsi halmazsűrűségű szálas tüzelőanyagok gyakori tűztérbe adagolása a tüzelőanyag kiegészi fokától, illetve a primer tűztér és az elégető rostély töltöttségi mértékétől függően vezérelt automatikus adagolóval oldható meg. Annak érdekében, hogy áramszünet esetén kézzel is üzemben tartható legyen a berendezés, a villanymotor és az adagoló hengerek meghajtómechanizmusa közé egy szabadonfutót vagy kézzel működtethető tengelykapcsoló helyezhető el.

A hosszú időszakos, 10-12 óránkénti utántöltést az automatikus adagoló fölé épített nagy térfogatú (0,5-1,0 m³-es) tüzelőanyagtároló teszi lehetővé. Ebbe általában 60-70 cm hosszúságú, maximálisan 10-15 cm átmérőjű szálas anyagot is el lehet helyezni.

Az egyidejűleg, illetve alternatívan üzemeltethető víz- vagy levegőmelegítő az utóégető fölött egymással párhuzamosan helyezkedik el. A füstgázokat a megfelelő hőcserélőbe az utóégető fölött vízszintesen elmozdítható tűzálló zárólap középső állása esetén a vízmelegítő és a levegőmelegítő egyszerre is fűthető. A tűzálló zárólap közbülső helyzeteivel változtathatjuk a vízmelegítésre és a levegőmelegítésre fordított hőáramok arányát. Az üzemeltető igénye szerint a rendszer csak kazánnak vagy csak levegőmelegítőnek is kialakítható.

70. ábra: Farmer-kályha szerkezeti vázlata [28]

1-primer tüztér, 2-szekunder tüztér, 3-levegőmelegítő, 4-vízmelegítő, 5-tűzálló tolólap, 6-korund tűzálló bélés, 7-szekunder levegő, 8-hőszigetelő kerámia, 9-rostély, 10-füstgázterelő elem, 11-primer levegő, 12-hamu eltávolítás, 13-füstgáz

A **kukoricacsutka-égető** és pernyeleválasztó berendezés a farmerkályhához hasonló elven működik, de nagyságrendekkel nagyobb teljesítménye miatt, a funkciónak megfelelő szerkezettel és tűzálló falazattal rendelkezik / 71. ábra /. A tervezésnél

sajátos előnyt jelentett, hogy a viszonylag homogén (kukoricacsutka) tüzelőanyag a vetőmagüzemekben nagy tömegben áll rendelkezésre és általában hulladékként tartják számon, amelynek kezelése költséges és jelentős környezetterhelést okozhat. A kukoricaszárító hőigényének biztosítása érdekében történő eltüzelésével nemcsak a hulladékképződés csökkenése érhető el, hanem jelentős primer energiahordozó megtakarítás is.

A berendezés a környezeti és tüzeléstechnikai szempontok maradéktalan figyelembevételére alkalmas. Itt fokozottan számolni kell az égéskor keletkező – kicsi mérete és sűrűsége miatt nehezen kezelhető – pernye leválasztásával, valamint az égető berendezés működésére és élettartamára károsan ható tényezőkkel, így:

- a viszonylag kis lágyulási hőmérséklettel rendelkező pernye tömítő hatásával a hőhasznosító járataiban,
- a viszonylag nagy K_2O -tartalmú (~14 %) hamu tűzálló falazatra gyakorolt korróziós hatásával.

Az elégető és pernyeleválasztó berendezés kialakításánál – a hagyományos tüzeléstani szempontok figyelembevétele mellett – prioritást kapott a kellő tüztérhőmérséklet ($>1100\text{ }^{\circ}\text{C}$) biztosítása, a tökéletes égés (PAH és CO csökkentés) elérése érdekében. A viszonylag nagy tüztérhőmérséklet biztosítását és korróziós hatás kivédését megfelelő tűz- és korrózióállóságú munkabélés (100 mm vastag, fémszállal erősített mullit-korundbeton) és egy emögé épített hőszigetelő réteg (kerámiaszállal erősített hőszigetelő tűzálló beton) alkalmazásával, valamint a többfokozatú égetés és a levegőbevezetés kialakításával oldható meg.

A túl meleg ($>1100\text{ }^{\circ}\text{C}$) égéstermék hőmérsékletének ésszerű (kb. $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ra) csökkentését a pernyeleválasztóként is működő (ciklonrendszerű) berendezés segítségével végezhető úgy, hogy a hőtartalom egy része (primer és szekunder ágon külön-külön) az égéslevegő előmelegítésére fordítható.

71. ábra: Kukoricacsutka-égető és porleválasztó berendezés szerkezete [28]

1-biomassza égető, 2-égéslevegő, 3-szekunder égéslevegő, 4-utóégető, 5-korund tűzálló bélés, 6-hőszigetelő döngölt tűzálló kerámia, 7-hőszigetelő szálkerámia, 8-adagoló nyílás, 9- primer tüztér, 10-rostély, 11 légszekrény, 12-hamu eltávolítás, 13-gyújtóégő, 14-primer levegő, 15-pernyeleválasztó és égéslevegő előmelegítő, 16-füstgáz, 17-merülőcső

4.2.3 Szerves hulladékok bontása pirolízissel

A pirolízis a szerves anyagú hulladék megfelelően kialakított reaktorban, hő hatására, oxigénszegény vagy oxigénmentes közegben – esetleg inert gáz (pl. nitrogén) bevezetés közben -, szabályozott körülmények között bekövetkező kémiai lebontása (=hőbontás).

A hőbontás során a szerves hulladékból:

- pirolízisgáz,
- folyékony termék (olaj, kátrány, szerves savakat tartalmazó bomlási víz),
- szilárd végtermék (pirolíziskoksz) keletkeznek.

Ezek összetétele, aránya és mennyisége a kezelt hulladék összetételétől, a reaktor üzemi viszonyaitól és szerkezeti megoldásától függ. A végtermék elsősorban energia-hordozóként (fűtőgáz, tüzelőolaj, koksz), ritkábban vegyipari másodnyersanyagként (pl. a gázterméket szintézisgázzá konvertálva metanol előállításához) és esetenként egyéb célokra (talajjavítás szilárd, szénben dús maradékkal; fakonzerválás vizes maradékkal; granulált salakolvadék építőipari adalékanyagként, stb.) hasznosítható.

A hőbontás során döntőek a kémiai átalakulás reakciófeltételei. Ide tartoznak elsősorban a hőmérséklet, a felfűtési idő és a reakcióidő, továbbá a szemcse-, ill. darabnagyság és az átkeveredés mértéke, hatékonysága. A végtermék összetételének és részarányának alapvető meghatározója a hőmérséklet. A hőátadástól függ a felfűtési sebesség, amely szintén hat a termékek összetételére. Az alkalmazott hőmérséklet-tartomány általában 450-550 °C, azonban egyes eljárások ennél nagyobb hőmérsékleten is üzemelnek.

A hulladék hőbontására négyféle reaktortípus használatos:

- a vertikális vagy aknás reaktorok,
- a horizontális fix reaktorok,
- a forgódobos reaktorok és a
- fluidizációs reaktorok.

A szilárd maradékok a vízfürdős leválasztást követően különbözőképpen dolgozhatók fel (szervetlen maradékok elkülönítése után aktívszén előállítása, közvetlen elégetése, stb.)

A gáz- és gőzállapotú termékek leválasztására és tisztítására a legkülönbözőbb gáztisztítási és gáz-gőz szétválasztási módszereket és kombinációikat (pl. ciklonokat, elektrofiltereket, gázmosókat, utóégető kamrákat, krakkoló reaktorokat) alkalmazzák. A hőbontás legnagyobb előnye az, hogy termékei értékesíthető alifás és aromás szénhidrogének, továbbá légszennyező hatása jelentősen kisebb, mint a hulladékégetésé. Hátránya ugyanakkor a fokozott anyag-előkészítési igény, valamint az, hogy főként a kisebb hőmérsékletű eljárásokban a gáztisztítás összetettebb és

komplikáltabb, valamint az ennek során keletkező, többnyire erősen szennyezett mosóvizet is komplex módon tisztítani kell.

Hátrányos továbbá, hogy az égetéshez képest nagyobb a lehetősége a nehezen bomló, nem tökéletes égéstermékek képződésének. A hőbontási eljárások fejlesztése folyamatban van. A költségek az égetéshez hasonlóak, esetenként az üzemeltetési költségek a végtermékek kedvező értékestése következtében fedezhetők is.

A gyakorlatban azok az eljárások terjedtek először, amelyeket viszonylag homogén ipari hulladékok (pl. műanyag-, és gumihulladék, savgyanta, stb.) kezelésére fejlesztettek ki.

A települési és az egészségügyi veszélyes hulladék kezelésben az „áttörést”

- a reduktív és oxidatív eljárás soros összekapcsolása,
- a priolízis menetét (oxigénadagolást) befolyásoló folyamatirányítási rendszerek kifejlesztése és alkalmazása jelentette napjainkra.

A szabályozott termikus oxidáción alapuló pirolízis technológia lényege, hogy

- az első kamrában oxigénmentes körülmények között, a szilárd hulladékot alkotó szénvegyületek gázfázisúvá alakulnak át,
- a második kamrában (az ún. utóégetőben) a gáz levegővel turbulens áramlással keveredik, ez által magasabb hőmérsékletet elérve, biztosítjuk a lehetséges veszélyes anyagok teljes ártalmatlanítását,
- a termikus folyamat különböző paramétereit betápláljuk egy számítógépes folyamatirányítóba, mely képes az ártalmatlanítás korrekcióját adott időközön belül megoldani.

A fenti elvet a gyakorlatba megvalósító ECO-WASTE rendszer felépítését a 72. ábra szemlélteti.

A jelenlegi adatok alapján 1 t háztartási hulladék pirolízise során 100-120 kWh energia visszanyerésével lehet számolni.

A pirolízis-technika előzőekben ismertetett előnye, a tökéletesebb lebontás és a füstgáztisztító hatékony működése következtében ma már a berendezések a legszigorúbb EPA, EU, illetve hazai levegőtisztaság-védelmi előírásoknak is megfelelnek.

Az eljárás végterméke a salak, hamu már nem tartalmaz toxikus kioldható anyagokat, így külföldön ez az anyag minden megkötöttség nélkül lerakható (akár települése

hulladékkal együtt). Hazai alkalmazás esetén minősítő vizsgálatok szükségesek, de III. osztályú minősítés esetén pl. takaróföldként szintén elhelyezhető.

72. ábra: Az ECO-WASTE SOLUTION pirolízisrendszer elvi technológiája [17]

1-hulladék adagoló; 2-biolízis kamra; 3-gázelvezető összekötő; 4-utóégető kamra; 5-submatikus szabályozó, 6-ipari vákuum rendszer; 7-füstgáztisztító; 8-energia visszanyerő; 9-kémény

Összességében az ECO-WASTE szabályozott termikus oxidáció (pirolízis) anyagmérlege kedvezőnek mondható,

- rendkívül lecsökkentve a továbbkezelendő anyagmennyiség,
- a környezetvédelmi határértékek betartása és az
- energiahasznosítás mellett.

Az ismertetett elven működő pirolízis berendezések ma már elterjedten alkalmazottak külföldön kistérségi, helyi települési és egészségügyi hulladékkezelési feladatok megoldására.

A technológia környezetvédelmi előnyei mellett a továbbiak is jelentkeznek:

- az egyes berendezések modul rendszerben összekapcsolhatók, tág kapacitástartomány elérése mellett,
- a technológia szakaszosságából jelentkező hátrány több kamra párhuzamos – soros működésével kiküszöbölhető,
- a berendezések alkalmazása lehetővé teszi a komplex hulladékgazdálkodást, előzetes válogatás csatlakoztatásával.

A hőbontási eljárások különleges típusát képviselik az elgázosítási módszerek, melyeknél a szerves anyagok hőbontása min. 850-950 °C hőmérsékleten (max. 1600-1700 °C hőmérsékletáig), segédanyagok – levegő, oxigén, vízgőz – segítségével megy végbe, a lehető legnagyobb gázkihozatal érdekében. Az elgázosításhoz szükséges energiát a szerves anyagok parciális égetése biztosítja. A gáztermék döntően hidrogént és szén-monoxidot tartalmaz, fűtőértéke jelentősen az alacsonyhőmérsékletű pirolízisgáz fűtőértéke alatt marad (levegővel történő elgázosításkor átlagosan 5000 kJ/m³, oxigénnel történő elgázosításkor átlagosan 10000 kJ/m³).

Az alkalmazott elgázosító reaktorok szilárd ágyas, fluid ágyas és áramlásos rendszerűek. A gáztisztításra a pirolízises módszerekénél említett komplex tisztítási eljárások alkalmazottak. A gáztermék energetikai hasznosításra kerül, amennyiben szintézisgázkénti felhasználásra van mód, akkor az elgázosító segédanyagként oxigént kell alkalmazni és nyomás alatti üzemelés szükséges (pl. metanol előállításnál). Ez azonban csak a vegyipari vagy petrokémiai üzemekben gazdaságos.

Az elgázosítási eljárások intenzív fejlesztése az elmúlt évtized során felgyorsult, az alábbi előnyök miatt:

- kisebb, tisztítandó gázmennyiségek,
- a nagymolekulájú szénhidrogének, főként az ártalmas klórtartalmú vegyületek nagyhőmérsékletű lebontása a dioxinok és furánok redukáló atmoszférával gátolt képződésével,
- üvegszerű salakgranulátum előállításával (nehézfémek megkötésével) a szilárd maradékok másodlagos környezetszennyező hatásának minimalizálása, egyúttal könnyebben hasznosítható végtermék kinyerése (hasonlóan a salak-olvasztásos égetéshez),
- a tiszta gáztermék előállítása, amely sokoldalúan (energianyerés, szintézisgáz) hasznosítható.

A jónéhány eredményes fejlesztési eljárásból (Siemens, Lurgi, Noell, Thermoselect) csak a Siemens fejlesztést ismertetjük részletesebben.

A Siemens által kifejlesztett Schewl-Brenn-eljárás / 73. ábra / a pirolízis és az azt követő nagyhőmérsékletű égetés kombinációja. A 150-200 mm-re aprított szilárd települési és ipari hulladékot közvetett fűtésű forgó dobkemencében 450-500 °C hőmérsékleten pirolizálják, majd az így előállított pirolízisgázokat további kezelés nélkül közvetlenül a nagyhőmérsékletű – kb. 1300 °C-on dolgozó – égetőkamrába vezetik. A szilárd pirolízismaradékot rostálják, a fémeket leválasztják. A tapasztalat szerint az 5 mm-nél kisebb részek gyakorlatilag az egész izzítási kokszot tartalmazzák. Ezt megőrlik és szintén a nagyhőmérsékletű égetőkamrába vezetik. Itt égetik el a véggáztisztításból származó szálló port és elhasznált adszorbenst is.

A hőhasznosítást követően (gőz-, illetve áramtermelés) a füstgázt a hulladékégetőkhöz hasonló komplex rendszerben tisztítják. A salakolvadékot vízfürdős hűtést követően tárolják ki. Nagy előnye a hagyományos égetéssel szemben, hogy a gáz és a finomra őrölt pirolíziskoksz elégetése az égetőkamrában alacsony (20-30 %) légfelesleggel történik.

73. ábra: A Siemens-eljárás egyszerűsített sémája

4.3 Műanyag hulladékok égetéssel történő ártalmatlanítása, illetve hasznosítása

A műanyagok kiváló megmunkálhatóságuk és tartósságuk miatt széleskörben használt ipari termékek. Az egyre bővülő (csomagolóanyag, tartály, stb.) gyártás és alkalmazás miatt növekvő hulladékmennyiséggel kell számolni.

Napjainkra jelentős a műanyag hulladék újrahasználat, de gyakorlatilag az összes hulladéktömeg fele-kétharmada hulladéklerakókba kerül. Ez jelentős környezetterhelést, anyag- és energiapazarlást jelent.

A műanyagtermékek újrahasználatára (visszaváltható flakonok, többször használható alkatrészek, stb.), anyagában történő újrahasznosítására (ugyanazon gyártási folyamatba való visszajáratás vagy más adalék és segédanyaggyártás) és az energetikai célú hasznosítás (tüzelőanyagként való elégetés) egyre jelentősebb kutató-fejlesztő kapacitást köt le és egyre több gyakorlati eredménnyel jár.

Itt röviden a japán kutatók egyik eredményét mutatjuk be a műanyag hulladék nagyolvasztóban történő elégetése és elgázosítása kapcsán.

A kísérleti műveletek, számítások és mérések alapján 1996 októberében egy japán üzemben sikeresen megindult és folyik a polietilén, polipropilén é polisztirol műanyag hulladékok nagyolvasztókban való újrahasznosításának 30 000 t/év nagyságrendű ipari méretű megvalósítása. A rendszer vázlatát a 74. ábra mutatja be. A szilárd és filmszerű műanyag hulladékok előkészítése két soron történt, ezt követte a frikciós hő felhasználó olvasztás és agglomerálás, majd a megszilárdult műanyag a nagyolvasztóba történő befűvásra alkalmas méretre őrlése.

Az eredmények a következőkben foglalhatók össze:

- a műanyag hulladékok elégetésének és elgázosodásának körülményei a normál működtetésű nagyolvasztókban nagyon különböznek a szénporbefűvés esetétől, amennyiben a műanyag hulladékok égési és gázosodási sajátosságaira hatással van a részecskeméret. A műanyagok befűvése esetén ugyanakkor a szénhidrogén és a kátrány bomlástermékek ugyanolyan mértékben keletkeznek, mint a szénporbefűvés esetén, a gáztisztító rendszerben tehát kátrányfeltapadások a műanyag bomlásakor sem várhatók.

A befűvott műanyagok elégeése a részecskék átmérőjének és az elkészítés módszerének a függvénye. Az elégeés és elgázosodás hatásfoka a részecskeméret növekedésével növekszik, de az agglomerált műanyagoknál e két paraméter nagysága kisebb, mint az ugyanakkora méretűre őrlött különálló részecskék esetében.

- A műanyagokból származó el nem égett karbon CO_2 -dá történő elgázosodásának sebessége sokkal nagyobb, mint a szénpor estén, ami arra utal, hogy az előbbiekből származó karbon könnyebben ég el a nagyolvasztókban.
- A műanyagok maximális befűvási sebességét a részecskeátmérő és az olyan sajátosságok határozzák meg, mint pl. a keménység, ami azt a következtetést vonja maga után, hogy a megfelelő részecskeátmérő és megfelelő előkészítési módszer megválasztása lehetővé teszi a műanyagoknak a nagyolvasztóba nagy tömegben történő befűvását.

74. ábra: A műanyag hulladék újrahasznosítása nagyolvasztóban [30]

4.4 Szennyvíztisztítás

A használat során szennyeződött vizek végső elhelyezésére két lehetőség adódik: az élővizekbe vagy talajba vezetéssel juttatni vissza a természetes körfolyamatba. Mindkét közeg rendelkezik öntisztuló képességgel, de a növekvő szennyvízmennyiséggel már nem tudnak megbirkózni, ezért szükséges a szennyvíz

összegyűjtése és eltávolítása az ember környezetéből, a második lépés pedig a szennyvizek olyan mértékű tisztítása, hogy végső elhelyezésük ne jelentsen veszélyt az élővizek vagy a talaj élővilágára, öntisztulási viszonyaira, de mindenekelőtt a vizeket és a talajt használó emberre.

A szennyvizek összegyűjtésének legmegfelelőbb módja a csatornázás, mivel a zárt csőrendszer megóvjaa a talajt és a talajból nyert ivóvizet a szennyeződéstől és fertőzéstől. Ipartelepeken előfordul a szennyvizek földfelszín feletti csővezetékekben szállítása is.

Városainkban a házi szennyvizeket többnyire egyesített rendszerű csatornahálózat gyűjti össze, míg az elválasztó rendszerben a csapadékvizeket külön hálózat vezeti el. Az egyesített rendszer előnye, hogy nehezen dugul el, az esőzések időről időre átmossák a hálózatot. Hátránya, hogy a szennyvíztisztító és átemelőberendezéseket bővebbre kell méretezni, de zápor idején így is előfordulhat a túlterhelés, amely a tisztítás nélkül kerül a befogadóba. Az elválasztó rendszer nemcsak a település változásait képes rugalmasabban követni, hanem a csapadékvizek bővízü befogadóba különösebb kezelés nélkül bevezethetők.

Ipartelepeken a különböző típusú szennyvizek részér célszerű külön csatornahálózatot építeni. Alapvető szennyvíztípusok:

1. technológiai szennyvizek;
2. egészségügyi berendezések öblítővizei;
3. hűtővizek;
4. csapadékvizek.

Míg a hűtő- és csapadékvizek általában a szennyvíztisztító elkerülésével közvetlenül a befogadóba vezethetők, a technológia és a kommunális szennyvizeket tisztítani kell. A tisztítás központi telepen történő megvalósítása mellett szól, hogy a fajlagos beruházási és üzemeltetési költség a szennyvízmennyiség növekedésével csökken, továbbá központi telepen a szakszerű kezelés jobban biztosítható. Különösen vegyi üzemekben azonban gyakran előfordul, hogy még egyazon üzemben keletkező technológiai szennyvizek összekeverése is kedvezőtlen, mert az egyik szennyező anyag kezelését hátrányosan befolyásolhatja egy másik jelenléte, máskor a hígítás nehezíti valamely komponens eltávolítását. Ilyenkor a technológiához közvetlenül kapcsolódó, üzemen belüli szennyvízkezelés kerül előtérbe: ez a központi telep

működését zavaró komponensek eltávolítása mellett gyakran értékes anyagok visszanyerésével jár együtt.

Galvanizálóüzemben keletkező nikkel- és ciántartalmú szennyvizeket külön kell kezelni, mert a nikkel cianiddal nagyon nehezen elbontható komplexet képez. Hasonlóképpen kerülni kell a cián- és krómtartalmú szennyvizek összekeverését, mivel a cianidokat szokásosan lúgos közegben nátrium-hipoklorittal oxidálják, a kromátokat pedig savas közegben három vegyértékűvé redukálás után távolítják el hidroxid alakban.

4.4.1 Települési szennyvizek tisztítása

Előbb tárgyaljuk a városi szennyvizek tisztítását, mivel annak korábban kifejlesztett módszereit (szükség esetén kiegészítő lépésekkel) az ipari szennyvíztisztításban is alkalmazzák. Háztartási szennyvíz esetén a fő probléma az erjedésre, rothadásra hajlamos szerves anyagok eltávolítása. Ezt a célt többnyire mikroorganizmusok irányított tevékenységén alapuló oxidatív lebontással érik el, amely aerob körülmények között zajlik le. A biológiai folyamat hatásosságát azonban csak a mechanikai és kolloid szennyeződések előzetes eltávolításával lehet biztosítani, ezért a szennyvíztisztítás hagyományos folyamata általában két fő szakaszra: a mechanikai és biológiai (vagy más elnevezéssel az első- és másodrendű) tisztításra oszlik. Ma már nagyobb tisztítási igény esetén – amennyiben cél az eredeti vízminőség helyreállítása – a technológia ún. harmadik tisztítási fokozattal egészül ki. A harmadrendű tisztítás feladata lehet pl. a sótartalom csökkentése, az eutrofizáció megakadályozására a tápanyagok (elsősorban a N és P) eltávolítása, az első két fokozaton változatlanul átjutó ízrontó vagy mérgező mikroszennyezők kivonása, stb. A sokféle feladatnak megfelelően változatos fizikai-kémiai módszereket alkalmaznak, kivételesen biológiaiakat is (nitrogénvegyületek lebontása denitrifikáló baktériumokkal nitrogénné). A szennyvíztisztítás különböző lépéseiben keletkező iszapok kezelése is része a technológiának.

A szennyvíz tisztítását e célra létesített üzemekben (szennyvíztisztító telepeken) hajtják végre. Ügyelni kell arra, is hogy a tisztítás minél gyorsabban és a környezetre minél kevesebb káros hatással menjen végbe. Utóbbit biztosítja a szennyvíztisztító és

a lakóterület között létesített védőövezet, valamint a kezelőszemélyzet számára megfelelő higiénés körülmények kialakítása.

Egy városi szennyvíztelep folyamatábráját, illetve a tisztítás alternatív lehetőségeit mutatja be a 75. ábra. Tisztítás egyes lépéseit általában vasbeton műtárgyakban hajtják végre. Egyik-másik tisztítási lépés a szennyvíz fajtájától, a tisztítás technológiájától vagy a befogadó öntisztító képességétől függően hiányozhat. Gyakran azonos típusú szennyezés eltávolítására több alternatív lehetőség áll rendelkezésre, ilyenkor a beruházási és üzemeltetési költségek, az energiafogyasztás, az elérendő hatásfok, az adott berendezés beszerezhetősége, az üzemeltetési tapasztalatok megléte vagy hiánya stb. döntő lehet az alkalmazásra kerülő módszer kiválasztásában.

A durva (50 mm-nél nagyobb pálcaközű) és finom (10-50 mm pálcaközű) rácsok a város szennyvíz durva uszadékát fogják fel a szivattyúk és műtárgyak védelme érdekében. Álló és mozgó rácsokat különböztetünk meg, alakjuk szerint pedig íves és síkrácsokat. Az összegyűjtő rácsszemetet általában gépi úton távolítják el periodikusan vagy folyamatosan működő tisztítókészülésekkel (fésűfogas markoló). A rácsszemet kellemetlen szagot áraszt, kezeléséről gondoskodni kell: a dél-pesti szennyvíztisztító telepen a rácsszemetet az iszappal együtt anaerob rothasztásnak vetik alá, a termelt gázt (ún. biogáz, zömmel metán) villamosenergia-termelésre, a szilárd maradékot szikkasztás után trágyaként használják fel. Angliában alkalmaznak ún. aprító szűrőt (komminutor) is, amely a darabos szennyező anyagokat felaprítja, így azokat a későbbiek során az előüleptető medence tartja vissza.

75. ábra: Szennyvíztisztítás folyamatábrája [33]

Az iszapmennyiség és a gépi berendezések kopásának csökkentése érdekében a szennyvíz 0,1-0,2 mm-nél nagyobb szemcséjű ásványi hordalékát homokfogóval távolítják el. Ezekben a többnyire hosszanti átfolyású medencékben a szennyvíz áramlási sebessége a csatornában biztosított minimálisan 60 cm/s-ról (amelynél a homokszemcsék még lebegésben maradnak) legfeljebb 30 cm/s értékre csökken: a homokszemcsék a fenéken gyűlnek össze, ahonnan végtelen láncra szerelt kaparólemezek kotorják folyamatosan az e célra kiképzett aknába (zsomp). A 76. ábra szerinti megoldás mellett nagyobb vízmennyiség és változó terhelés esetén alkalmazzák a légbefúvásos típusokat, amelyeknél kisebb áramlási sebességnél is biztosított a lebegő szerves anyag továbbúztatása az ülepítőkbe. (A kinyert homokot értékesíthetik, de előtte a rothadóképes szerves anyagot ki kell mosni.)

A levegőbefúvás kedvezően hat a szennyvíz olaj- és zsírtartalmának csökkentésére is, mert a medence aljáról felfelé áramló finom levegőbuborékok az olaj- és zsírcseppecskéket magukkal ragadják, így azok a felületről lefölközhetnek.

A durvább iszapanyagot kis (1 cm/s körüli) áramlási sebesség biztosításával a mechanikai ülepítőmedencékben ülepítik le. Biztosítani kell, hogy az ülepítőkben a szennyvíz ún. friss állapotban maradjon, azaz a leülepedő iszappal csak rövid ideig érintkezzen, hogy annak bomlástermékeit ne tudja felvenni. Ez azt jelenti, hogy az iszapot az ülepítőtérből folyamatosan vagy legalábbis néhány órán belül el kell távolítani. A kiülepedett iszap kezeléséről minden esetben gondoskodni kell. A friss vízü ülepítők vízszintes (hosszanti vagy sugárirányú) és függőleges átfolyású medencék lehetnek.

A hosszanti átfolyású (pl. Lipcsei-) medencék általában téglalap alakúak. A medencébe érkező szennyvíz egyenletes elosztását vályú biztosítja, a bevezetőnyílások elé helyezett energiatörő elemek révén a kívánt egyenletes sebességeloszlás a medence beömlési végétől rövid távolságon belül elérhető. A víznél nagyobb sűrűségű lebegő anyagok ülepedése miatt a medence fenekén gyűlik össze az iszap, amelyet az iszaptölcsérbe szakaszos működésű iszapológocsi vagy folyamatos működésű kaparólemezek tolnak be. A felkeveredés elkerülésére a iszapkotró haladási sebessége legfeljebb 7 mm/s lehet. A kifolyási oldalnál lévő csordulóél a víz elvezése mellett rögzíti a vízszintet. Az úszóiszap visszatartására a csordulóél elé merülőfal helyezendő.

A sugárirányú átfolyású (Dorr-) medence henger alakú, amelynek fenekét kissé kúposan képezik ki / 77. ábra /, átmérője a 30 m-t, mélysége a 4 m-t is eléri.

77. ábra: Dorr medence [33]

A medence közepén levő hengeres térbe vezetett szennyvíz energiatörő elemek közbeiktatásával jut az ülepítőtérbe, ahol sugárirányban a medence kerülete felé áramlik. A tisztított vizet a merülőfal mögötti bukóél nyílásain vezetik el, amelynek terhelése az ülepítendő lebegő anyag természetétől függően a bukóél 1 mteres darabjára vonatkoztatva 150-450 m³/nap lehet. Az ülepítő jó működésének feltétele, hogy a bukóél nyílásait azonos szintre állítsák be és a kotrószerkezet futófelülete

sima legyen. Az úszóiszapot a kotrószerkezet felső részére szerelt fölözőszerkezet távolítja el, míg a medence fenekére ülepedett iszapot a lassan körbe forgó kotrószerkezet kaparja az iszapgyűjtőbe.

Kisebb ülepítőtérfogat (a tisztítótelep végső kiépítésében maximum 600 m^3) esetén gazdaságosan alkalmazhatók a függőleges átfolyású (Dortmundi-) medencék, amelyek kör / 78. ábra/ és négyzet alaprajzúak lehetnek, átmérőjük a 7 métert, térfogatuk a 100 m^3 -t nem haladja meg. A medence közepén elhelyezett ejtőcsőben a lefelé mozgó víz sebessége maximum 3 cm/s , majd a cső alsó peremét megkerülve jut az ülepítőtérbe, ahol $0,3\text{-}0,6 \text{ mm/s}$ sebességgel felfelé áramlik, végül a tisztított víz a csordulóélen átbukva távozik. A medence alsó, kúpos felületén a leülepedett iszap lecsúszik a tölcser legmélyebb pontjára, ahonnan iszapelvező csövön vezethető az iszaprohasztóba (vagy recirkulációs rendszer esetében a biológiai tisztítórendszer előülepítője elé).

78. ábra: Dortmundi kemence [33]

A medence működése a lebeg iszapfelhő szűrő hatásán alapul: a szennyvízzel elragadott és felfelé törekvő iszapfolyék az iszapfelhőhöz érve növelik az ott levő

pelyhek méretét, bizonyos méretnél nagyobbra nőtt pelyhek végül is kiválnak a lebegő iszapfelhőből, és a tölcsér alakú medencefenékre süllyednek.

Kisebb szennyvízmennyiség esetén beváltak az ugyancsak függőleges átfolyású Graever-ülepítők / 79. ábra /, amelyek nem beton műtárgyak, hanem fémből készült berendezések.

79. ábra: Graever-ülepítő [33]

Újabban a mechanikai ülepítők teljesítményét különféle vegyszerek hozzáadásával növelik, a módszert elsősorban nagy koncentrációjú szennyvizekben alkalmazzák. A pelyhesítő anyagok (flokkulálószer) bizonyos körülmények között jelentős mennyiségű kolloid anyagok képesek pelyhes állapotba hozni, kiülepíteni, aminek következményeként azután a biológiai tisztítás könnyebbé válik. A flokkulálószer nagy (1 millió feletti) molekulatömegű láncpolimerek, amelyek a különböző töltésű szennyvízrészecskékhez nagy aktivitású oldalláncokkal kapcsolódnak, azokat pelyhekké gyűjtik. Ezáltal önmagukban vagy a jelenlevő, esetleg külön e célra hozzáadott nagy sűrűségű (pl. homok) részecskékhez kapcsolódva megnövelik a rendszer ülepedési sebességét. A hazai Sedosan vagy Flokonit akrilsav és akrilamid kopolimer, amelynek a COOH-csoport kationaktív, a CONH₂-csoport anionaktív jelleget ad.

A kétszintes ülepítők a mechanikai ülepítés és iszaprohasztás folyamatát önmagukban egyesítik, mert az iszap a felső ülepítőtérből az alsó térbe csúszik le, ahol kirothad. Lényeges az alsó tér olyan elválasztása, hogy az ott felszálló

buborékok ne juthassanak be az ülepítőtérbe. Szinte kizárólag előülepitőként használható, mert benne a tisztítás mértéke BOI_5 -ben kifejezve 30 %-nál kisebb.

A mechanikai tisztítás után a szennyvízben még jelentős mennyiségű oldott és kolloid állapotú szerves anyag maradhat, ezek a befogadót még erősen terheltetik. A szennyvíz további tisztítására mikroorganizmusok tevékenységén alapuló ún. biológiai tisztítás terjedt el, amelynél oxigén jelenlétében a természetes vizek öntisztulási jelenségéhez hasonló aerob folyamatok játszódnak le, de megfelelő energiabefektetéssel sokkal rövidebb idő alatt és jelentősen kisebb térben, mint a természetben.

Az aerob mikroorganizmusok a szerves vegyületek oxidatív lebontásakor felszabaduló energiát saját életműködésükhöz (növekedés, szaporodás, mozgás, stb.) használják fel. A szerves anyagnak az energiatermeléshez használt része bonyolult biokémiai reakciókban szén-dioxiddá, vízzé, szulfáttá, stb., vagyis szervesetlen anyaggá alakul át, míg a szerves anyag fennmaradó része új sejtanyag felépítésére használandó. A sejttömeg a megtisztított szennyvíztől elkülöníthető, a szervesetlen végtermékek egy része (pl. CO_2) gáz alakban a rendszerből szintén eltávozik, a maradék pedig a befogadókra általában nem káros, hiszen számottevő oxigénigénye és mérgező hatása már nincs. A folyamat aerob körülményeinek biztosítására állandó oxigénellátás szükséges, amelyet a gyakorlat levegőztetéssel biztosít.

A biológiai tisztítás tehát lehet természetes (árasztásos, esőztető-öntözéses és halastavas módszer) és mesterséges (csepegtetőtestes és eleveniszapos eljárás).

A mesterséges biológiai tisztításban a mikroorganizmusok környezeti formájától függően

- a) hártvás;
- b) pelyhes és
- c) diszperz

rendszereket különböztetünk meg.

- a) *Hártvás rendszer* alakul ki az ún. csepegtetőtesteken, amelyek nagy fajlagos felületű anyagok (salak, bazalttufa, újabban műanyagok), amellyel henger alakú műtárgyat töltenek meg. A mechanikailag tisztított szennyvizet vízelosztó berendezéssel (forgó permetező) csörgedeztetik a tölteten, amelynek felületén mikroorganizmusok telepeiből kocsonyás állományú, ún. biológiai hártva képződik, amelynek aktív határfelületén az oldott és kolloid szerves anyagok

adszorbeálódnak, majd lebomlanak. Az oxigénellátásról természetes vagy mesterséges ventiláció gondoskodik. A biológiai hártya kialakulásához nyáron 3-6 hét, télen 6-8 hét szükséges. Toxikus vagy olajtartalmú szennyvizek gátolják a hártya kialakulását.

A hártya vastagodásával arról időről időre egy-egy darab leválik, amelyet a tisztított víz magával visz. A csepegtetőtestes tisztításnál emiatt mindenkor utőüleptítőt kell alkalmazni.

- b) A *pelyhes rendszerben* a mikrobák nem helyhez kötöttek, hanem pelyhes szerkezetű iszapszuszpenzió alakjában, ún. eleveniszapként lebegnek a szennyvízben. Az eleveniszapos szennyvíztisztítók elvileg két részből állnak. Az első részben levegőztetéssel biztosítják a szükséges oldott oxigént, másrészt az eleveniszapot lebegésben, áramlásban tartják, hogy a bevezetett szennyvíz az iszappal minél intenzívebben érintkezzen. A második részben az eleveniszapot ülepítik, ezzel a vizet megtisztítják. Az ülepített iszap nagy részét recirkuláltatják, felesleges mennyiségét az előüleptítő iszapjával együtt kezelik (egy részét az előüleptítő hatásfokának növelésére is visszavezethetik). Az eleveniszap – a csepegtetőtestes rendszer biológiai hártájához hasonlóan – magából a szennyvízből alakítható ki az ún. bedolgoztatási idő alatt, amely általában 1-2 hét.

A lebontáshoz szükséges oxigént légbefúvással vagy mechanikus szerkezettel (rotor) juttatják a rendszerbe. A fenékközeli, kisbuborékos rendszernél a levegőt finom pórusú kerámiafejekon keresztül kompresszorral fújják az eleveniszapos medencébe. Lényegesen kisebb energiaigényű a felszínközeli, nagybuborékos levegőztető, az ún. INKA-rendszer.

Az eleveniszapos rendszerek terhelhetősége $2\text{--}2,5 \text{ kg BOI}_5/(\text{m}^3 \cdot \text{nap})$, előnye a rugalmasság, azaz a terhelés minőségi és mennyiségi változásához alkalmazkodni tud. Hátránya a nagyobb üzemeltetési költség, 1 kg BOI_5 lebontásának energiaigénye kb. $0,6 \text{ kWh}$.

- c) *Diszperz rendszerre* példa a levegőztetett szennyvíztó. Élővizekbe szennyvíz beengedhetőségének feltétele a biológiai élethez szükséges minimális (a mindenkori telítési érték 50 %-a) oldott O_2 biztosítása. Az aktuális oldott oxigénkoncentrációból le kell vonni a telítési érték 50 %-át és a víz saját

oxigénfogyasztását, csupán a fennmaradó érték terhére lehet szennyvizet bevezetni. Tavak és folyók oldott oxigéntartalmát felületi levegőztetőkkel mintegy 2 kg O₂/kWh energiafelhasználással növelhetjük meg. 1 kg BOI₅ lebontásának energiaigénye kb. kWh.

Az *utókezelés* a változatos feladatoknak megfelelően sokféle eljárást alkalmazhat, a leggyakoribbak:

- vegyszeres kicsapás a foszfor eltávolítására;
- ioncserélő, illetve molekulaszitás eltávolítás vagy sztrippelés az ammónia kiűzésére;
- algás tó a tápanyagok együttes eltávolítására;
- homoksűrítés a maradék kolloid anyagok visszatartására;
- aktív szenes adszorpció mikroszennyezők megkötésére;
- és a legkülönbözőbb fizikai-kémiai módszerek szerves és szervetlen sók és szerves anyagok eltávolítására.

A házi szennyvíz általában tartalmaz kórokozó baktériumokat, vírusokat, gombákat, bélférgeket. A tisztítás során ezek egy része lepusztul, jelentős részük az iszapba kerül, de a tisztított víz is tartalmaz kórokozókat. A fertőtlenítés célja ezek elpusztítása. Hazánkban a klórozás terjedt el a klórgáz, klórmész vagy nátriumhipoklorit alakjában. A klórozás hatásosságának feltétele a szennyvíz előtisztítása (nagyobb hordalékok belsejébe még hosszabb idő alatt sem tud behatolni), kellő mennyiségű klór adagolása és elkeverése (a kifolyó vízben literenként néhány tizedmilligramm szabad klór maradjon), továbbá a szükséges behatási idő biztosítása (terelőlapos ún. behatási medencékben). A csírátlantást az egészségügyi szervek csak járvány esetén írják elő; kórházak, szanatóriumok tisztított szennyvizeit azonban mindig fertőtleníteni kell.

4.4.2 Ipari és házi szennyvizek együttes tisztításának lehetőségei

A települések ipari üzemeinek szennyvizeit a közcatornába vezetve kevert szennyvíz keletkezik, amelynek tulajdonságai a házi szennyvizétől jelentősen eltérhetnek. A tapasztalatok azt mutatják, hogy a különböző eredetű szennyvizek

együttes elvezetése, majd központi telepen történő együttes kezelése bizonyos esetekben előnyös lehet.

Műszaki előny, hogy a lökésszerűen jelentkező ipari szennyvizek így mennyiségileg és minőségileg kiegyenlítődnek, a mérgező komponensek hígulása folytán káros hatásukat elvesztik, közömbösítés is bekövetkezhet. A házi szennyvíz jól lebontható szerves anyag és ásványi (ammónia, foszfát) tápanyagtartalma következtében az ipari szennyvíz szervesanyag-tartalma biológiailag lebonthatóvá válik. A házi szennyvíz jól pelyhesedő kolloidtartalma elősegíti az ipari szennyezők flokkulációját. Gazdaságilag előnyös a kisebb költség és az, hogy az ipar mentesül a szennyvíztisztítással járó feladatoktól.

Ugyanakkor meg kell említeni azokat a káros hatásokat is, amelyeket egyes ipari szennyező anyagok kifejtetnek a csatornák szerkezeti anyagára és az ott dolgozó emberekre, továbbá egyes anyagok gátolhatják a mechanikai, de még inkább a biológiai tisztítás folyamatát, vagy a házi szennyvíztisztítás módszerei ezekre az anyagokra hatástalanok. Mindezek miatt módosítani kell a szennyvíztisztító telep üzemét, de gyakran az ipari szennyvizet csak az üzemben belüli előtisztítással lehet alkalmassá tenni a házi szennyvizekkel való együttes kezelésre. A szennyvíztisztítás megoldásnak célszerű útja ipartelepek esetén is az, hogy a különböző típusú ipari szennyvizeket legkárosabb komponenseiktől a technológiához kapcsolódó üzemben belüli előtisztítással vezetik a központi tisztítótelepre.

A csatorna anyagára károsak a savas ($\text{pH} < 5$) és nagy szulfáttartalmú ($>1000 \text{ mg SO}_3/\text{l}$) vizek, mert megtámadják a portland cementtel készült betont és habarcsot, korrodálják a vas szerkezeti anyagokat. Lúgos ($\text{pH} > 10$) szennyvizek megtámadják a nagy alumínium-oxid-tartalmú cementet, és a hidrogénkarbonátokkal reagálva a csatornában karbonátok rakódnak le. A meleg szennyvizek a bitumen tömítésre lehetnek ártalmasak. Éles, szilád hordalékok a csatorna falát felsérthetik, a könnyen ülepedő anyagok pedig a kis esésű szakaszokon lerakódnak. A bomlástermékek gázai kellemetlen szagot és robbanásveszélyt okozhatnak, utóbbi okból veszélyesek a szerves oldószerek is. Károsak még a különféle zsírok, mert a csatorna falát vastagon bevonhatják, és eltávolításuk nehéz. Nagyon veszélyesek a galvanizáló üzemek cianos elfolyó vizei. Mindezeket az ipari szennyvizeket a közcsatornába engedés előtt tisztítani kell.

Az ülepítésben mellékáramlások kialakulásával okozhatnak zavart a lökésszerűen érkező nagy sótartalmú vagy hőmérsékletű vizek. Az iszaphoz tapadó olaj megnehezíti annak további kezelését, felúszás is előfordulhat (ilyenkor megfelelő lefőlőzőszerkezet szükséges). Bizonyos fém sók gátolhatják a lebegő anyag koagulálását.

Vannak szerves anyagok, amelyek a biológiai tisztítás során nem vagy csak kis sebességgel bomlanak le, illetve lebontásuk csak a mikroorganizmusok lassú kiválasztódása vagy adaptálódása után lehetséges. Vegyi üzemek szennyvizeiben gyakran találhatók a mikroorganizmusokra is mérgező szerves és szervetlen anyagok. Fenolok, detergensek és olajszármazékok többnyire zavart okoznak, a nagy sókoncentráció is bénítja a baktériumok tevékenységét. Mérgező fémvegyületek (pl. kromátok, cink- és réz-sók) károsan hatnak a biológiai tisztításra; a kísérleti adatok szerint egy hatásos eleveniszapos tisztítóból elfolyó víz BOI_5 és lebegőanyag-tartalma durván kétszeresére nőtt, ha a tisztítandó vízbe 10 mg/l koncentrációban nehézfémeket keverték, egyidejűleg a tisztítás hatásfoka 95 %-ról 90 %-ra csökkent. A tapasztalatok szerint a nehézfémek 20-40 %-a túljut a biológiai tisztítási fokozaton, ezért gyakran az elfolyó víz minősége sem kielégítő.

A visszatartott nehézfémek az iszapban a szennyvízbeni koncentráció sokszorosára dúsulhatnak, ezáltal nemcsak az iszaprothadást gátolhatják, hanem a szikkasztott iszap mezőgazdasági felhasználásra is alkalmatlanná válik.

4.4.3 Ipari szennyvizek tisztítása

A 75. ábrán bemutatott tisztítási folyamat részben vagy túlnyomórészt biológiailag bontható szennyeződések tartalmazó ipari szennyvizek tisztítására is alkalmas, csupán a műtárgyak arányai és az üzemeltetési paraméterek (pl. hosszabb levegőztetési idő, nagyobb iszaptér) változnak, vagy egyes kiegészítő (pl. semlegesítő, vegyszer- és tápanyag-adagoló) berendezésekre van szükség. Az ipari szennyvizek összetétele azonban gyakran olyan, hogy a káros szennyezések eltávolítására speciális általában a technológiához közvetlenül kapcsolódó berendezéseket kell alkalmazni, ezért az ipari szennyvíztisztításban a mélyépítési műtárgyak mellett az adott technológiától és szennyező anyagtól függően a

legváltozatosabb vegyipari műveletek és készülékek is szerepet játszanak: ezek fizikai (flotáció, oldószeres extrakció, sztrippelés, adszorpció, mikroszűrés, bepárlás, fordított ozmózis, stb.) és kémiai (semlegesítés, emulzióbontás, oxidáció és redukció, kicsapás, flokkuláció, stb.) módszerek.

A különböző rendkívül káros anyagok (pl. nehézfémek, fenolok, cianid) eltávolítására a technológiához közvetlenül kapcsolódó tisztítási eljárást célszerű alkalmazni, így a település vagy az üzem központi szennyvíztisztító telepére azonos jellegű szennyvizek jutnak. Az előtisztított szennyvizek további tisztítására ugyanis előnyös az egyesített biológiai kezelés megvalósítása, mer a fajlagos kezelési költségek így kisebbek, továbbá az egyes technológiákban jelentkező zavar miatt az egyesített szennyvíz minősége, ezáltal a biológiai tisztító terhelése kevésbé változik.

Adott szennyezés eltávolítására használandó eljárás kiválasztásakor mindenelőtt az kell megvizsgálni, hogy azzal a kívánt vízminőség (vízügyi hatóság által előírt határkoncentráció) elérhető-e. Például fluortartalmú szennyvizekből mésztejjel CaF_2 alakjában történő kicsapással nem mindig biztosítható a fluoridionok koncentrációjának az adott vízminőségi kategóriájú területen előírt érték alá csökkentése. Az említett területeken tehát a mésztejes kicsapási technológiával nem érhető el a kívánt vízminőség. Emellett vizsgálni kell a kezelendő szennyvíz jellegét (milyen egyéb komponensek mellől kell az adott szennyezést eltávolítani) és a tisztítás során a keletkezett terméket (annak jelenléte megengedhető-e, illetve a további tisztítási lépésekben eltávolítható). Nem közömbös a tisztítás költsége sem: gyakran a tisztítás műszakilag megoldott, ilyenkor a kutatás gazdaságosabb megoldások kidolgozására irányul.

A technológiához közvetlenül kapcsolódó szennyvízkezelésre a felületkezelő üzemek példáját mutatjuk be.

A *galvanotechnikai* (felületkezelő) üzemek fémtárgyak felületét elektrolitekben más fémrel vonják be korrózióvédelmi, vagy esztétikai célból.

A galvanizálás egyszerűsített technológiai sémáját a 80. ábra mutatja be. Minden technikai művelet alapja a felületek megfelelő előkészítése.

80. ábra: A galvanizálás technológiai sémája [11]

A keletkező szennyvizek jellegét az alkalmazott elektrolit, valamint a felület-előkészítés módja határozza meg.

A galvánipari szennyvizek tisztítása rendkívül sok kombináció és változatot foglal magába, a hagyományos csapadékos eljárástól kezdve a legkorszerűbb fluidágyas technológiáig.

Célként fogalmazható meg a gyártástechnológiára illeszkedő, alapanyag visszahasznosítást eredményező olyan eljárás, mely a környezetre a legkisebb nehézfém-kibocsátást eredményezi, függetlenül a befogadó jellegétől (közcsatorna, vagy élővíz).

A tisztító rendszer „iszaptermelése” döntő szempont, hiszen a nehézfém-tartalmú iszapok közbenső elhelyezése, szállítása és megsemmisítése műszakilag és gazdaságilag nagy ráfordításokat igényel.

A galvántechnikai üzemekben keletkező ipari szennyvizek alapján véve két csoportba sorolhatók:

- nagy mennyiségű, de kis töménységű szennyvizek (öblítőkádakból folyamatosan elfolyó vizek),
- kis mennyiségű, nagy koncentrációjú szennyvizek (kádürítés vizei).

Ami a megoldások változatosságát illeti, három példát mutatunk be.

Ioncserélős megoldást tartalmaz a 81. ábra, mely lúgos cianidos és savas kromátos szennyvizek tisztítását oldja meg.

A 82. ábra, mely a cianidos-krómos szennyvizek hagyományos tisztítástechnológiáját tartalmazza.

A 83. ábra a savas vizek tisztítására mutat be példát.

81. ábra: A körfolyamatos öblítővíz-tisztítás folyamatábrája [12]

82. ábra: Cianidos-krómos vizek kezelése [11]

1-vesztertartó; 2-cianid oxidáció; 3-krómredukció; 4-semlegesítés; 5-ülepítés;
6-ellenőrző medence; 7-iszapvíztelenítés; 8-befagadóba

83. ábra: Savas vizek kezelése [11]

4.5 A gumi újrahasznosítása

A gumitermékek teljes életciklusuk alatt – az alapanyagok termelésétől végső eltüntetéséig – erősen terhelik a környezetet. A gumiiparban is általános ökológiai gond a légköri emisszió, a nagy energiafogyasztás, de különösen problematikus a használatból kikerülő gumiáruk, főként a gumibroncsok kezelése, hasznosítása vagy lerakása.

A gumibroncsok helyisége hulladékként óriási, emellett mindenfajta roncsolásnak, lebontásnak, így a biológiai hatásoknak is ellenállnak. Tetemes részük még az olyan ökológiai szemléletben előrehaladott országokban is, mint az USA, megtűrt vagy illegális lerakókban, és előtte sokszor egyszerűen az útszéli árokban köt ki. A gumihalmok rovarok és rágcsálók tenyészhelyei, és emellett rendkívül gyúlékonyak is, füstjük erősen szennyező és ártalmas anyagokat is tartalmaz.

Magyarországon a probléma késői felismerése és a gazdasági gondok miatt keveset fordítottak karbantartásra és a hulladék kezelésére. Mindez környezeti károkból is megnyilvánul. A környezetvédelmi problémák kezelésére nem volt sem kapacitás, sem motiváció.

A gumibroncsok képezik az összes gumihulladék 75 %-át. A gépjárművek számának állandó növekedésével arányosan nő a gumibroncs-termelés, és ugyanakkor az elhasználódott gumibroncsok száma. Ez utóbbival ugyanis –

természetes lebontó, ártalmatlanító folyamatok hiányában – eddig még nem tudott lépést tartani semmiféle hulladékkezelés vagy – hasznosítás.

Az újrafutózás 80-150 %-kal hosszabbítja meg a gumiabroncsok élettartamát, tehát szintén környezetkímélő program. Újrafutózás alkalmával eltávolítják az elhasználódott futófelület maradékát, hibáit kijavítják, majd új futófelülettel látják el az abroncsot.

A hidegen végzett újrafutózás megtakarítása új gumiabroncs gyártásához képest

- alapanyagban 70 %
- energiában 97 %
- a hulladékképződést tekintve
 - abroncsra számítva 33 %
 - gumiból pedig 85 %.

A személyabroncsoknak 15-30 %-a, a teherabroncsoknak 60-65 %-a alkalmas újrafutózásra, de pl. az Egyesült Királyságban a használhatatlanná vált abroncsoknak csak 15, illetve 36 %-át vetik alá ilyen felújításnak. A teljes mennyiség újrafutóztatása az újrafutóztató iparág kétszeres növekedését jelentené, de erre bizalmi okokból nem lehet számítani. Marketing-elemzések szerint a gumiabroncspiac 50 %-os bővülésének az újrafutóztott személyabroncsok piaca 30 %-os növekedése felel meg. E téren nagy felvilágosító és propagandatevékenységre volna szükség.

Itt a gumihulladék hasznosítási technológiák közül kettővel:

1. a darabolt, felaprított és őrölt gumihulladék hasznosításával és
2. a gumihulladék priolízisével foglalkozunk részletesebben.

4.5.1 Őrölt gumihulladék hasznosítása

A gumihulladék hasznosításának első lépése – eltekintve a teljes abroncsok volumenben jelentéktelen föld- és vízpépítő alkalmazásaitól – a különböző, a felhasználás által megkívánt darab-, illetve szemcseméretűre való aprítás. E akár 75 %-ot is elérő térfogatcsökkenéssel jár. A mérettartományok szokásos megkülönböztetése

- 20-31 mm feletti: apríték, arabolt gumi,
- 5-30 mm: granulátum,

- 30 μm – 3 mm: őrlemény, por

Az útépités szintfeltöltő munkáihoz és a védőfalak alapozásához homok és kiemelt talaj helyett gumibroncs zúzalékot használva - a szükséges falmagasságtól, biztonsági követelményektől, áraktól, szállítási távolságoktól, stb. függően – 50-60 %-nyi költséget lehet megtakarítani.

A közutak alapozásának egyik legfontosabb tényezője az anyagok deformálhatósága. Amerikai kutatók hat különböző felépítésű 2 m magas, 4,8 m széles kísérleti alapozást vizsgálva megállapították, hogy csak az első (közlekedési) terhelés idéz elő lényegi deformációt, ezt követően még a 300 kPa nyomás is alig változtat az út állapotán. Ez azt jelenti, hogy először plasztikus alakváltozás következik be, és ezután az aprított gumi már rugalmas réteggént viselkedik. Eszerint a gyakorlatban az út burkolásával meg kell várni az alapozás stabilizálódását. A gumi nem rugalmas (maradó) alakváltozása homok hozzákeverésével csökkenthető.

84. ábra: Útalapozás feldarabolt gumibroncsokkal [34]

4.5.2 A gumihulladék pirolízise

A gumi pirolízise, azaz hevítése levegő kizárásával, 600-800 °C-on

- 50-60 % könnyen illó olajat,
- 30-40 % szilárd (pirolíziskoksznak nevezhető szén) és
- 10-20 % gáznemű terméket

ad, amelyek a fűtő- és üzemanyagként, önállóan vagy a kőolaj-finomítás termékeivel vegyesen, a finomvegyszergyártás vagy aktív szén (korom) alapanyagaként, ill. füstmentes fűtőanyagként használhatók.

A guumiabroncs-hulladékból nyert fűtő- ill. üzemanyagok használatát akár magukban, akár hagyományosakkal keverve, egyelőre bizalmatlanság kíséri. A felhasználás mind az ipar, mind a kereskedelem irányában ösztönzésre szorul, esetleg a nem ásványi fűtőanyagok erőművi használatának befolyásolásával.

A gumiból nyert pirolízis olaj fűtőértéke 40-44 MJJ/kg, de kén tartalma elég nagy: 1,0-1,5 %. Használatát korlátozzák a benne kimutatott policiklusos aromás szénhidrogén (PAH), amelyek közt rákkeltő és mutagén vegyületek is előfordulnak. A PAH-vegyületek égéstermékai bekerülnek a fűtőberendezések füstgázába és a járművek kipufogógázába. Mindezekről azonban csak kevés gyakorlati adat áll rendelkezésre.

Az USA Környezetvédelmi Hivatalának (EPA) egyik kutatólaboratóriumában kipróbálták a gumiabroncs-hulladék pirolíziséből nyert olaj alkalmasságát – a szokásos földgáz helyett – közműellátó erőművek nitrogén-oxid-kibocsátásának csökkentésére, nem egy másik ponton vezetik a kemencébe, kialakítva egy utóégető övezetet /85. ábra/, amelyben kisebb az oxigénfölség és nagyobb a tüzelőanyag-arány. Ilyen körülmények között az NO vegyületek nitrogénné, a szénhidrogének szén-monoxiddá alakulnak át. Az újraégetés kedvező esetben az NO-emisszió 65 %-os csökkentését teszi lehetővé.

A kísérleteket kb. 4 m magas, 25 cm belső átmérőjű 44 kW teljesítményre és 85 m³/h füstgázáramra tervezett függőleges kemencében végezték, az égetés hőbevitelét 8 és 20 % között, a NO-koncentrációt 600 és 1200 ppm között, az oxigénfölséget 1,1 és 1,2-szeres sztöchiometriai arány között választották.

Az NO-emisszió csökkentése pirolízisgáz-adagolásakor az említett feltételektől függően 20 és 63 % között változott, de egyébként azonos körülmények között mindig kb. 30 %-kal a földgázzal elérhető csökkentés alatt maradt. Mégis a technológia optimalizálásával azon a gumiabroncs pirolízis termékei gazdaságosan helyettesíthetik az emissziócsökkentő utóégetésre használt földgázt.

85. ábra: Utóégetés gumihulladék pirolízisolvajával [34]

A gumi pirolízise után elkülönített koromból vízgőzös aktiválással 500, széndioxid jelenlétében hevítve 400-800 m²/g fajlagos felülettű, 0,5-2 % hamutartalmú szén nyerhető.

Az USA Országos Tudományos Alapítványának támogatásával az Advanced Full Research Inc.-nél kifejlesztett eljárás szerint a gumi pirolízisével nyert kokszt széndioxiddal magas hőmérsékleten aktiválható, majd a gáz visszanyerhető. Az olajokból kemencében kormot vagy lepárlással aromás szerves vegyületeket állítanak elő. A pirolízis a részben visszavezetett pirolízisgáz jelenlétében megy végbe. Választható variánsként a pirolízisolvaj egy részét is vissza lehet juttatni a reaktorba, ahol krakkolódik, módosítva a termékösszetételt. A visszakeringtetett olaj és gáz mennyiségével és arányával általában tetszőlegesen lehet bizonyos határok között vezérelni a folyamatot.

A *pirolízisgáz* elegendő energiát szolgáltat magához a pirolízishez és a szén aktiválásához. A pirolízistermékek megoszlása: 20 % gáz, 45 % olaj, 35 % kokszt. Erre és 1996. évi árakra alapozva az új pirolíziseljárás

- tiszta haszna 1,50 USD/darab abroncs,
- évi bruttó jövedelem 100 t/nap (=vagyis 4 millió db gumiabroncs/év) feldolgozása esetén 6 M USD,

- a beruházási költség – 20 M USD – megtérülési ideje 3,3 év.

Összehasonlításul:

- a gumiabroncs-hulladék elégetése hőhasznosítás nélkül darabonként 0,4-0,6 USD-ba kerül,
- a villamosenergia-termelés gumiból fajlagosan 1,5-5,1-szer drágább, mint szénből.

A gumiabroncs-hulladék pirolízise tehát értékesebb termékek előállításával a hasznos égetéshez képest is versenyképessé tehető, emellett nem annyira veszélyes a környezetre.

A vegyes eredetű textil- és acélbetétes gumiabroncsokat eredeti vagy aprított formában pirolizálták.

Az égetést 1,6 m hosszú, 0,5 m belső átmérőjű, kerámiabélésű kemencében végzik, 15-18 kW kapacitású égővel. A szakaszosan betáplált abroncsmennyiség esetenként 1015 kg. Az égés maximális hőmérséklete 950 °C, egy ciklus ideje 12-14 óra. A pirolízisgáz-hozam elég az égés fenntartására. A lassú folyamat a termékek közül a pirolíziskokszt képződésének kedvez.

4.6 Építési hulladék hasznosítása

Az építési hulladékoknak négy fontos csoportját különböztetik meg: építési hulladék, munkahelyi hulladék, kiemelt föld, útfeltörési anyag.

A legértékesebb másodlagos nyersanyagok az útfeltörés és az építmények bontásából származó törmelékek képezik. A teljes építési hulladék mennyiségen belül legnagyobb részarányt – 60-80 %-ot – a kiemelt föld képviseli, a többi hulladékfajta – építési bontási hulladék, építéshelyi hulladék és az útbontási törmelék – hozzávetőlegesen ugyanolyan arányban keletkezik.

A kitermelt föld a mélyépítésnél, útépítésnél és egyéb építőipari munkák során egyaránt keletkezik. A kiemelt föld termőfölből, homokból, kavicsból és más kőzetanyagokból, kőzetdarabokból áll.

Az építési törmelék a bontási műveletek során jön létre. Fontosabb alkotóanyaga: a beton, vasbeton, téglá, malter, cserép, kerámia. A törmelékben szennyező anyagok is előfordulnak, amelyeket az újrahasznosítás előtt gondosan le kell választani. Ebbe a csoportba tartozik a fa, üveg, fémek, papír, műanyag.

E hulladékokat rendszerint konténerekben gyűjtik össze, ezért építési konténerhulladéknak is nevezik. Igen heterogén összetételű hulladék, fő alkotóelemei a beton, téglá, malter, homok, kavics, kerámia, fa, műanyag, kábel, üveg, vas, papír, lakk és a festékek.

Útbontási törmelékek. Az útépítésnél keletkeznek az útbontási törmelékek. Ide sorolhatók a bitumenes vagy hidraulikusan kötött építőanyagok, a beton, a szegélykő, az útburkoló kő, a kavics, a homok, a zúzott kő.

Az utak felső bitumenes fedőrétegét bontás esetén közvetlenül az aszfaltkeverő berendezés segítségével dolgozzák fel. A konkrét anyagi összetétele a pályaszerkezettől függ / 87. ábra /.

A konkrét anyagi összetétele függ az útpálya forgalmától, terhelésétől, és ezzel összefüggésben az útalap és a burkolat kötőanyagától (bitumen vagy cement). Az útpálya tervezett terhelése (nagy forgalmú főutak, autópályák, repülőterek, közepes forgalmú utak, kis forgalmú utak és mezőgazdasági utak) egyúttal meghatározza az útalap és burkolati rétegek vastagságát és az alkalmazott adalék anyagi minőségét (alkalmazható kőzetfajtát) is.

87. ábra: Útpálya szerkezete [37]

Merev útpálya feltöréséből származó anyag a beton, amelyet a földmű anyaga (< 5-10 % homok-kavics, zúzottkő vagy salak és föld) szennyezhet. A hajlékony útpálya feltöréséből származó anyag vagy tiszta aszfalt vagy aszfalt és az alapból származó zúzottkő keveréke (aszfalt 20 % és zúzottkő 80 %), amelyet a földmű anyaga különböző mértékben (5-10 %) szennyezhet.

A vegyes útpálya feltöréséből származó anyag a felszedés módjától függően lehet tiszta aszfalt és beton, vagy aszfalt és beton keveréke (aszfalt 20-30 % és beton 80-70 %), amelyet mos is a földmű anyaga szennyezhet.

Az építési hulladékok újrahasznosítása:

Az újrahasznosítás érdekében gondosan fel kell deríteni a gazdaságban azokat a területeket, ahol az előkészített hulladékanyagból származó termékek felhasználhatók. A termékeknek meg kell felelnie a környezetvédelmi és az építésműszaki előírásoknak. Ismerni kell az anyagok tulajdonságait, amire rendszerint a megfelelő anyagvizsgálatok és kísérletek adnak választ.

Az építési hulladékanyagok újrahasznosítását három kritérium határozza meg, műszaki minőség, környezettel való összeegyeztethetőség, valamint a primer ásványi anyagokkal való versenyképesség.

Az építési hulladékok újrahasznosításának lehetőségeit a 88., 89., 90., 91. ábra szemlélteti.

Az építési hulladékanyag legértékesebb részét az ásványos alkotórészek képezik. E vonatkozásban első helyen a beton áll, a beton újrahasznosításának a lehetőségei széles körűek és csaknem teljes tömegében újrahasznosítható. A hasznosításuk fő területe az építési és útépítési betonadalék-anyagként (a primer kavics-homok és a zúzottkő részben vagy teljes helyettesítésével) való alkalmazás. A tört beton másik fontos felhasználói területe az építőelemek gyártása, ahol szintén betonadalék-anyagként használható fel. Az így kapott termék kisebb szilárdságú (10-20 %-kal), mint a hagyományos.

88. ábra: Építési bontási törmelék újrahasznosítása [37]

89. ábra Építési munkahelyi hulladék újrahasznosítása [37]

90. ábra: Kiemelt föld újrahasznosítása [37]**91. ábra: Útépítési hulladékok újrahasznosítása [37]**

A téglá, a csempe (önmagában vagy betonnal keverve) már csak meghatározott célra való hasznosítást tesz lehetővé (pl. beltéri betonozást). A mészhomokkő, malter, finom homok munkagödrök, vezetékkárok töltőanyaga. A többi komponens (fa, fém, papír, műanyagok, agyagos föld, termőtalaj) szennyezőnek tekinthető.

Útbontási törmelék felhasználása:

- 25 % részarányig póttanyagként új fedőréteghez,
- 20-30 % részarányig kötő réteghez.

Az építési hulladék előkészítése:

Az újrahasznosítást szolgáló előkészítés folyamatát – a hulladékok begyűjtésétől kezdve a végtermék értékesítéséig – a 92. ábra tünteti fel.

**92. ábra: Útépítési hulladékok újrahasznosítása való előkészítésének
folyamata [37]**

A feldolgozandó építési hulladék, valamint a végtermékkel szembeni minőségi követelmények határozzák meg a technológia kialakítását. Az előkészítési technológia lehet száraz vagy nedves, a törési fokozatok száma alapján pedig egy-, két- vagy háromlépcsős.

Az építőipari hulladékokat be kell gyűjteni, és megfelelő kontroll mellett – a veszélyes és a fel nem dolgozható anyagok leválasztására – előszortírozásnak kell alávetni, majd pedig az előkészítés során le kell aprítani, a különböző szennyező anyagoktól fizikai tulajdonság szerint a dúsítóberendezésekkel meg kell tisztítani, és szitaberendezésekkel méret szerint frakciókra kell bontani.

A tervezésnél az alábbi feladatokat kell megoldani:

- a kiindulási anyag sajátosságainak meghatározása;
- a piacelemzés a termékfajták és mennyiségeik tekintetében;
- az előállítandó szemcsefrakciók és azok minőségének a meghatározása;
- az előkészítőmű helyének kiválasztása;
- az előkészítési technika megtervezése, tekintettel minden körülményre, különösen is a környezetvédelemre;
- megvalósíthatósági tanulmány készítése;

- döntés (abban, hogy a tervezett vállalkozás, a tervezett technikai feltételek mellett gazdaságosan megvalósítható-e, ezért el kell vetni vagy más utat kell keresni, pl. egyszerűbb megoldással gazdaságossá tenni, stb.)

A technológiai folyamatban a fő eljárástechnikai feladatok tehát:

- Tárolás: a nyershulladék fogadása és a végtermék tárolása.
- Feladás: a rendszer feldolgozandó anyaggal való táplálása.
- Adagolás: a rendszer feldolgozandó anyaggal való szabályozott folytonos üzemű táplálása.
- Osztályozás: finom szennyezők, föld, stb. leválasztása és a végtermékek előállítása.
- Aprítás: a szemcseméret kívánt mértékű csökkentése, a kívánt szemcseméretösszetétel előállítása, a komponensek fizikai feltárása (vasbeton törésével a beton és vas szabaddá válása, ezt követően egymástól pl. mágneses szeparálással elválaszthatók). Rendszerint durva és középpaprítási fokozat valósítanak meg.
- Szennyező anyagok leválasztása: száraz vagy nedves fizikai-mechanikai (főként gravitációs és mágneses) dúsítási eljárások alkalmazásával.
- Szállítás.
- Rakodás.
- Energiaellátás.
- Környezetvédelem: emissziók (poros levegő, szennyezett víz, zajkibocsátás) előírt értéken való tartása.

4.7 Villamosipari és elektronikai hulladék (VEH) újrahasznosítása

A villamosipari és elektronikai hulladék (EH) összetétele – az elektromos fogkefétől a fagyasztóládán és telefonkészülékeken át a személyi számítógépig – igen sokrétű és a használati cikkek fajtáinak még többszöröse a felhasznált anyagok száma.

A hulladékok ökológiai hatását elsősorban a forrasztásra használt elem és a bromszubsztituált lángálló (gátló) vegyületek okozzák.

Az elektronikai készülékek újrahasznosítása a jövőben egyre nagyobb jelentőségre tesz szert. Fontos mozzanata az újrahasznosításnak a begyűjtés.

A VEH értékteremtő és minőségi újrahasznosításának alapfeltétele a szétszerelés. Az ezt követő műveletek környezetterhelését csak a káros anyagokat tartalmazó építőelemeknek, pl. a televíziókészülékek képcsöveinek, az adalékolt műanyagból készült háznak és a nehézfém tartalmú lakkal bevont kezelőfalnak a következetes szétválasztása útján lehet csökkenteni. A szétszerelés másfelől lehetővé teszi hasznosítható komponensek és értékes anyagok kinyerését vagy feldúsítását, megkönnyítendő a szerkezeti anyagként való újrafelhasználást.

Az elektronikai készülékek kézi, az ökológiai igényeknek elébe menő szétszerelése gazdaságilag nehezen tartja magát a hivatalosan is propagált szemlélet szerint silányabb megoldásokkal – zúzás, elégetés, lerakás – szemben. A versenyt a kívánt oldal felé a tömeges feldolgozás és a minél szélesebb skálájú újrahasznosítás döntheti el.

A fentiekből levezethető a VEH visszaforgatását ökológiailag és gazdaságilag megalapozó tevékenységek három köre:

- a termékek újrahasznosításnak és szétszerelésnek kedvező kialakítása,
- szétszerelő rendszerek tervezése, valamint
- szétszerelési (rész) folyamatok automatizálása.

A villamos és elektronikai eszközöket és készülékeket a múltban az újrahasznosítási szempontok figyelembevétele nélkül gyártották, ezért hulladékként való kezelésük még néhány évtizeden át megkívánja káros komponenseik eltávolítását és környezetkímélő visszanyerését. A kézi szétszerelés ezt a feladatot a használható elemek értékének megőrzésével oldja meg (szemben a komponenseket, frakciókat összekeverő bezúzással), viszont idő- és munkaigényessége miatt csak az elérhető legnagyobb értékképzéssel, vagyis a szétszerelési költség és az anyag eladásából befolyó összeg közti különbség maximálásával lehet gazdaságos.

A készülékbontási ráfordítás és az anyagértékesítés közötti kompromisszumként definiálható az optimális bontási mélység. A bontás (szétszerelés) költségét a bontás idejéből és fajlagos (tömet vagy darabszám szerinti) költségteleiből lehet kiszámítani.

A készülékek bontását és szétszerelését ma már speciális tervezésű szerszámokkal (véső, fogó, csavarhúzó, csipesz, stb.) végzik, költsége ennek ellenére rohamosan nő a bontás mélységével.

A bontást végzőknek a feladata maximális értékképzést eredményező munkamódszerére nem lehet egységes útmutatást adni, mert a kezelendő hulladék igen heterogén, rendszerint magán viseli az elektronika minden korszakának jellemzőit.

Funkcióképző csoportok:

Minden készülék villamos és mechanikai funkciókat ellátó, összefüggő részegységekből áll, amelyek változatlan formában értékesíthetők, ugyanúgy, mint az egységes anyagú részek. Ezek alkotják a két, ún. frakcióképző csoportot. (Az „egységes” ebben a definícióban azt jelenti, hogy teljesíti az anyagi frakció minőségével szemben támasztott minimális követelmény). A régi készülékeknél rendszerint csak kinyitásuk után derül ki, hogy milyen frakcióképzőket tartalmaznak, tehát ekkor kell – nem éppen könnyű – döntést hozni a legnagyobb értékteremtéssel járó döntési mélységről.

A döntések alátámasztására a német ELPRO GmbH kidolgozott egy eljárást, amely

- a döntéshez szükséges lényeges információk vizualizálásán („előzetes irányítás”),
- egyszerű vizsgálati módszerekkel való igazolásán („utóirányítás”)

alapszik.

A frakcióképzők kinyerésére fordítható maximális bontási idők becsléséhez a munkahelyeken elhelyezendő szemléltető táblák készültek, amelyek a megengedhető műveleti időket cserélhető formában tüntetik fel, ugyanis a ma elfogadható idő holnap már túl hosszú lehet, pl. megváltozott értékesítési feltételek miatt.

Az adott frakcióképző tömegét szétszerelés előtt szintén csak becsülni lehet. Olyankor a munkás tapasztalata és egy „intelligens mérleg” is segít, amelyről a tömegén kívül leolvasható a ráhelyezett mintadarab megengedett bontási ideje, értéke, valamint az értékkülönbség egy másik frakcióba való besoroláshoz képest.

A rendszert számjegyes billentyűzet vezényli, ugyanis a szétszerelőüzem meglehetősen durva környezetére való tekintettel a fejlesztők lemondtak az egér és már érzékeny rendszer elemek használatáról.

Az ismertett eljárás az ELPRO GmbH szétszerelő üzemében már bevált. Használata, amely elhanyagolható időtöbblettel jár, csökkentette a hibás döntések számát, vagyis frakcióképzők olyan kitermelését, amely utólag gazdaságtalannak bizonyult.

Az elektronikus hulladék feldolgozása a szemet 21 000 t/év feldolgozókapacitású – már üzemelő technológia – elvi sémáját mutatjuk be a 93. ábrán.

93. ábra: A német Noell GmbH hulladékfeldolgozási koncepciója [40]

Szintén példának szánjuk a „TV képcsövek (képernyők) újrahasznosításának zárt ciklusú megoldását.

A képcső, amely a televíziókészülékekben a legnagyobb tömeg- és térfogatrészt alkotja, két különböző üvegfajtából áll:

- a képfelület (képernyő) stronciumot és báriumot tartalmazó és a kép kontrasztosságát fokozó bevonattal van ellátva,
- az ernyő kúpos nyakrészének („kónuszának”) üvegében lévő 25 %-nyi ólom a 30 kV feszültség által keltett röntgensugárzástól véd, a kónuszüveg még számos vegyi anyagot (akár tizet is) tartalmaz.

Mindkét üvegfajta beolvasztása az üveg- és képcsőgyári alapanyagba minőségromlást okoz. A képcsövek hasznosítása csak az összetétel egységesítésével – itt a távol-keleti olcsó import nagy gondot okoz -, a képcsövek élettartamának meghosszabbításával és a gyűjtés megtervezésével volna megoldható. Ezáltal

megvalósulhatna az ideális EU-szintű visszaforgatás, amelyben a friss üvegnyersanyag csupán 20 %-ot képvisel / 94. ábra /.

94. ábra: Képcsövek újrahasznosítása zárt ciklusban [40]

Az évente kb. 2,5 M képcsövet kibocsátó, ill. a 20 Mt képernyőt termelő aacheni Philips GmbH Röhrenfabrik és a Philips GmbH Glasfabrik Eco-Vision elnevezésű környezeti programjának keretében egyetemi és kutatóintézeti (Fraunhofer Institut), együttműködéssel a CAL (Computer Aided Lifecycle Analysis) szoftver segítségével tanulmányozták a termelővonalat az üveggyártástól a kész képcsőig. Ennek alapján kidolgozták a termelési üveghulladék fajtánkénti gyűjtésére és újrafelhasználására szolgáló eljárást.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Dr. Nagy Géza : Technológiai rendszerek (oktatói segédlet) SZIF. Győr. 1998.
- [2] Dr. Nagy G. – Dr. Bulla M. – Dr. Hornyák M.: Hulladékgazdálkodás. Főiskolai jegyzet. SZIF. Győr. 1995.
- [3] Máyer Zoltán (sz.) Zöld út az együttműködéshez. Magyar Természetvédők szövetsége. Bp. 2001.
- [4] Dames & Moore, Economics & Business Strategy Unit- Project Management Ltd: Implementation of the IPP Direktive and Its Legal Enforcement in Hungary (Phare Service Contract No HU9513-03-01-L002)
- [5] Az Európa Tanács 199. Szeptember 24-i, 96/61/EC számú Határozata a teljeskörű (integrált) szennyezés-megelőzésről és szabályozásról.
- [6] European IPPC Bureau: IPPC BREF Outline and Guide – Octorber 2000. Activites of tehe EIIPCB – <http://www.eippcb.jrc.es>
- [7] Dr. Árvai József. Környezetgazdálkodás. BME Mérnöktovábbképző Intézet. Budapest 1990.
- [8] Dr. Farkas J.; Dr. Nagy G.: Tüzeléstan. Egyetemi Tankönyv. TK. Bp. 1985.
- [9] Hannus I. és szti.: Kémiai Technológia. JATE Kiadó. Szeged. 1990.
- [10] Dr. Balogh I. – Dr. Nagy G.: Szilikátipari porelhárítás. NME szakmérnök jegyzet TK. Bp. 1981.
- [11] Barótfi I. szerk. Környezettechnika. Zenit Rt. Bp. 2000
- [12] Georg Winter: Zölden és nyereségesen. MK. Bp. 1997
- [13] Dr. Kerekes S. Változó környezeti szabályozás. Átfogó I. évf. 1. sz. 2001. május p. 4-8.
- [14] Zilahy Gy.: A tisztább termeléstől az ipari ökológiáig. Átfogó I. 1.sz. 2001. május p. 8-14.
- [15] Kerekes S.: A mezőgazdaságtan alapjai. Bp. 1998.
- [16] Halász J. és szti. A környezetvédelmi technológia alapjai. JATE Szakképzés. Szeged. 1998.
- [17] Szlávik J. szerk.: A természeti és épített környezet védelmi. Technológiai Előrettekintési Program. OM.Bp. 2000.
- [18] Dr. Nagy G. (szerk.): Hulladékgazdálkodás (főiskolai jegyzet) SZIF. Győr. 1998.

- [19] Tóth G. (szerk.): Környezeti vezető és auditorképzés (Tankönyv) Magyar Szabványügyi Testület. Bp. 1999.
- [20] Szeder Zoltán: Elektronikai készülékek hulladékainak kezelése BBS-E Bt. Bp. 2000.
- [21] Kerekes Sándor (szerk.): Vállalati Környezet Menedzsment. Aula, Budapest. 1977.
- [22] Tamuska L. és társai: Életciklus elemzés készítése. Tisztább Termelés Kiskönyvtár II.k. 2001.
- [23] Bándi Gy. (szerk.): Az Európai Unió környezetvédelmi szabályozása. Közgazdasági és Jogi Könyvkiadó, Budapest. 1999.
- [24] A hulladékgazdálkodásról szóló 2000. évi XLIII.tv. Magyar Közlöny 53. szám. Budapest. 2000. június 2. 3126-3144. old.
- [25] Bándhidy J.: A termikus hulladékhasznosítás európai irányvonalai. X Országos Köztisztasági Szakmai Fórum és Kiállítás. Szombathely, 2000. április 18-20. Kiadvány. P. 71.
- [26] Faragó T. (szerk.): Az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentése. Kiotói jegyzőkönyv az ENSZ éghajlatváltozásai keretegyezményéhez és a hazai feladatok. Fenntartható fejlődés bizottság kiadvány. Budapest. 1998.
- [27] Bulla M.: A megújuló energiahordozók hasznosításának tendenciái. SZIF Akadémiai Nap (A napenergia komplex hasznosításának kutatása-fejlesztése szekció) kiadványa. Győr. 1999.
- [28] G. Nagy, I. Szűcs, L. Wopera: Environmental Friendly Biomass-Burning Equipment with Corrosion-Resistant Refractory Products. International Scientific Conference. Miskolc, 9-11. May. 2000. p. 89-96.
- [29] Á. Serédi, E. Wagnerova, G. Nagy: Légszennyezők képződése biogáz eltüzelésnél. SZIF Akadémiai Napok (A napenergia Komplex hasznosításának kutatása-fejlesztése szekció) kiadvány. Győr. 1999.
- [30] Dr. Berecz Endre: A műanyag hulladékok újrahasznosítása nagyolvasztóba történő befűvéssel. Hulladék és másodnyersanyagok hasznosítása OMIKK 2001/6.
- [31] Asanuma, M.: Ariyama, T. stb.: Development of waste plastics injection process in blast furnace. = ISIJ International, 40. k. 3. sz. 2000. p. 244-251.
- [32] Feuerfestsysteme in Anlagen zur thermischen Abfallverwertung. = VG Power Tech, 81. k. 2. sz. 2001. p. 72-75.

- [33] Moser K., Pálmai Gy.: A környezetvédelem alapjai. TK. Bp. 1992.
- [34] Dr. Boros Tiborné: A gumiipar és a környezetvédelem – a gumi újrahasznosítása. Környezetvédelmi Füzetes. OMIKK. 1999/20.
- [35] Shaw D.: Hungary aims for clear industry - European Rubber Journal. 1804. 12.sz. 1998. p. 29-82.
- [36] Wajtowicz, M.A.: Serio, M.A.: Pryrolysis of serap tires: can it be profitable? (Nyeréséges lehet-e a gumiabroncs-hulladék pirolízise?) = Chemtech, 26. k. 10. sz. 1996. p. 48-53.
- [37] Dr. Csőke Barnabás: Építési hulladékok előkészítése és hasznosítása. OMKK. Környezetvédelmi füzetek. 1999/19. Bp. 1999.
- [38] Bauschuttrecycling mit modernster Technik durch Kombi-Konzept. (Építési hulladék újrahasznosítása kombi-konceptióval megvalósuló modern technikával.) = Aufbereitungs-Technik, 35.k. 5.sz. 1994. p. 256-258.
- [39] Heckötter, Ch.: Bauschuttaufbereitung – Recycling of building rubble. (Építési hulladékok előkészítése – Építési hulladékok újrahasznosítása.) = Aufbereitungs-Technik, 28. k. 8. sz. 1987. p. 443-449.
- [40] Dr. Boros Tiborné: A hulladékok újrahasznosítása az elektronikai iparban OMKK Környezetvédelmi füzetek. 2000. aug. Bp.
- [41] Recycling für Bildröhrenglas. (Képcsőüveg újrahasznosítása) =Radio, Fernsehen, Elektronik, 47. k. 3. sz. 1998. p. 42-44.
- [42] Cuhls, C.: Schoneborn, C.: Untersuchung von Elektro-Kleingeräten im Siedlungsabfall mit RFA ICP-AES, ICP-MS und AAS. (Települési hulladékban levő villamos kisgépek vizsgálata különféle spektrometriai módszerekkel.) = Müll und Abfall, 31. k. 12. sz. 1999. p. 716-726.
- [43] Miessner, St.: Methoder zur Produktionsteuerung bei der manuellen Entfertigung elektronischer Altgeräte-Systeme zur Entscheidungsunterstützung von Zerlegefachkräften. (Használt elektronikai készülékek bontásának termelésirányítási módszerei – döntés-előkészítő rendszerek szétszerelő szakemberek számára.) = DI Berichte, 1999. 1479. sz. p. 77-82.
- [44] Tetzner, K.: Reccling von Bildrohrenglas. (Képernyőüveg újrahasznosítása.) = Umwelt, 29. k. 11/12. sz. 1999. p. 12-14.
- [45] Erfolgreich in die Röhre geschaut. (Sikeresek a képcsőgyártásban.) = Umwelt, 29. k. 11/12 sz. 1999. p. 12-14.

- [46] Schlatther, E. C.: Löten und Kleben ohne Umweltbelastung. (Forrasztás és ragasztás a környezet terhelése nélkül.) =Schweizer Maschinenmarkt, 1999. 4.sz. okt. 20. p. 19-22.
- [47] Nicolaus, V.: Recycling von Kunststoffen aus der Informations- und Kommunikationstechnik. (Híradás- és kommunikációtechnika műanyagainak újrahasznosítása.) = Müll und Abfall, 31. k. 12. sz. 1999. p. 714-715.
- [48] Christill, M.: Lappe, A.: Drehrohrpyrolyse als Verwertungsverfahren für Elektro-Altgeräte aus dem Investitionsgüterbereich. (Beruházási javakból származó villamos és elektronikai hulladék hasznosítása forgócsöves pirolízis alkalmazásával.) = VDI Berichte, 1996. 1288. sz. p. 321-333.
- [49] Masatoshi, M.: Yuji, J.: Pyrolysis-based material recovery from molding resin for electronic parts. (Anyagok kinyerése elektronikai építőelemek öntőformáiból pirolízis segítségével.) = Journal of Environmental Engineering, 124 k. 9. sz. 1998. p. 821-828.
- [50] Chien, Yi-Chi, Wang, H. P.: Fate of bromine in pyrolysis of printed circuit board wastes. (A bróm viselkedése nyomtatott áramkört lapkák pirolízisekor.) = Chemosphere, 40. k. 4. sz. 2000. febr. p. 383-387.
- [51] Dietrich, K-H.: Recyclinggerechte Produktgestaltung im Unternehmen Agfa-Gevaert AG. (A termékek újrahasznosításának kedvező kialakítása az Agfa-Cevaert AG-nál.) = VDI Berichte, 1999. 1479. sz. p. 19-25.
- [52] Linz, B.: Umwelt-Rating für Elektronikbauteile. (Elektronikai részegységek környezeti értékelése.) = Schweizer Maschinenmarkt, 101. k. 1/2. Sz. 2000. p. 21-22.
- [53] Eder, St. W. : Entsorgungsquote für Elektrogeräte ist problematisch. (Problematiszus a villamos és elektronikai készülékek. (törvényes) hulladékkezelési kvótája.) = VDI Nachrichten, 1999. 22. sz.p . 4.
- [54] Dr. Nagy Géza (szerk.): Levegőtisztaság-védelem. Főiskolai jegyzet. SZIF Győr. 1998.

TARTALOMJEGYZÉK

BEVEZETÉS	4
1. A TECHNOLÓGIÁK RENDSZEREZÉSE	6
1.1 A tananyagban alkalmazott rendszerezés és lehatárolás	6
1.2 A technológiák bemenő és kimenő anyagai	8
1.2.1 A technológiai folyamatok bemenő anyagai (input):	8
1.2.2 A technológiai folyamatok kimenő anyagai (output):	9
1.2.3 A technológiák anyagmérlege:	9
1.2.4 A technológiák gyártási folyamatai	10
1.2.5 A gyártási folyamatok ábrázolása	10
2. TECHNOLÓGIÁK ISMERTETÉSE	12
2.1 Bányászati technológiák	12
2.1.1 Szénbányászat	16
2.1.2 Ércbányászat	18
2.1.3 Kőolaj- és földgázbányászat	19
2.2 Kohászati technológiák	21
2.2.1 Ércelőkészítés	21
2.2.2 Nyersvasgyártás	30
2.2.3 Acélgyártás	38
2.2.4 Alumíniumgyártás	45
2.2.5 Színesfémek kohászata	51
2.2.5.1 A réz kohászata	51
2.2.5.2 A cink kohászata	54
2.2.5.3 Az ólom kohászata	55
2.2.5.4 A színesfém-kohászat környezeti hatásai	55
2.2.6 Öntészeti technológiák	56
2.2.6.1 Formázás	57
2.2.6.2 Olvasztás: Az öntésre kerülő fém vagy fémötvözet folyékonytá tétele	62

2.2.6.3 Öntés	62
2.2.6.4 Öntvénytisztítás, javítás lépései:	63
2.2.6.5 Öntvények hőkezelése	63
2.2.6.6 Az öntvénygyártás környezeti hatásai	63
2.2.7 Képlékeny alakítás	66
2.3 Gépipari technológiák	68
2.3.1 A felületek előkészítése	69
2.3.2 A fémbevonatok készítésének technológiái	73
2.3.3 A fémes bevonatok készítésének környezeti hatásai	78
2.4 Szilikátipari technológiák	79
2.4.1 Épületkerámiák	80
2.4.2 Finomkerámia gyártás	85
2.4.3 Tűzállóanyaggyártás	88
2.4.4 Az üveg gyártástechnológiája	91
2.4.5 Építőipari kötőanyagok gyártástechnológiái	99
2.4.5.1 Nem hidraulikus, levegőn szilárduló kötőanyagok előállítása	100
2.4.5.2. Gipsz gyártása	102
2.4.5.3. Hidraulikus kötőanyagok (cementek) előállítása	103
2.5 Műanyaggyártás	105
2.5.1 A műanyagok csoportosítása	106
2.5.2 Polietilén gyártás	108
2.5.3 Poli(vinil-klorid), PVC gyártása	110
2.6 Mikrobiológiai- és élelmiszeripari technológiák	112
2.6.1 Sörgyártás	113
2.6.2 Cukorgyártás	117
2.6.3 Komposztálás	119
2.6.3.1 A komposztálás elméleti alapjai	119
2.6.3.2. Komposztálási technológiák:	123
2.6.3.2.1 MUT-Dano eljárás	126
2.6.3.2.2. Willisich-eljárás	128
2.6.3.2.3 BAV alagútreaktor	128
2.6.3.3 A komposztálás gyakorlati alkalmazási szempontjai:	129

2.7 Energiaipari technológiák	131
2.7.1 Kokszyártás	133
2.7.2 Kőolaj feldolgozás	138
2.7.3 Biogáz-előállítás	141
2.7.3.1 A biogáz képződés alapelve	141
2.7.3.2 Biogáz előállítás reaktorokban	144
2.7.3.3 Biogáz-termelés hulladéklerakókban	148
2.7.3.4 A biogáz előállítási folyamatban keletkező termékek hasznosítása	151
3. KÖRNYEZETBARÁT /HULLADÉKSZEGÉNY/ TECHNOLÓGIÁK ÉS ELJÁRÁSOK	153
3.1 Modellek	157
3.1.1 A hulladékkezelés alapmodelljei	158
3.1.2 A hulladékkezelés általános modellje a körforgás szempontjából	159
3.2 A termelési folyamat és a környezet kapcsolata	160
3.3 A termelési folyamat és technológia kapcsolata	163
3.4 Technológiába integrált megelőző környezetvédelem (Tisztább Termelés = TT)	170
3.4.1 A tisztább termelés értelmezése	170
3.4.2 Anyagáramok elemzése:	174
3.4.3 Az energiaáram elemzése	177
3.5 Integrált szennyezés-megelőzés és szabályozás (IPPC)	180
3.5.1 Az ipari létesítmények üzemeltetőinek alapvető kötelezettségeit szabályozó elvek	184
3.5.2 A BAT-on alapuló engedélyezési rendszer előnyei, működéséhez szükséges feltételek	185
3.6 Az életciklus-elemzés (LCA)	186
3.7 Vállalati környezetközpontú irányítási rendszerek /KIR, KMR/	189
3.7.1 Az ISO 14001 céljai és eszközei	192
3.7.2 Az EMAS szabvány	195
3.7.3 Az ISO 14001 és az EMAS összehasonlítása	197
4. KÖRNYEZETI IPAR, KÖRNYEZETI TECHNOLÓGIÁK	198

4.1	Olajkár elhárítás	200
4.1.1	Ex-situ biológiai talajregeneráló eljárások	203
4.1.2	In-situ talajregeneráló eljárások	206
4.2	A hulladékkezelés termikus eljárásai	208
4.2.1	Hulladékégetés forgódobos kemencében	211
4.2.2	Biomassza égetése, energetikai célú hasznosítása	214
4.2.3	Szerves hulladékok bontása pirolízissel	219
4.3	Műanyag hulladékok égetéssel történő ártalmatlanítása, illetve hasznosítása	225
4.4	Szennyvíztisztítás	226
4.4.1	Települési szennyvizek tisztítása	228
4.4.2	Ipari és házi szennyvizek együttes tisztításának lehetőségei	236
4.4.3	Ipari szennyvizek tisztítása	238
4.5	A gumi újrahasznosítása	242
4.5.1	Örölt gumihulladék hasznosítása	243
4.5.2	A gumihulladék pirolízise	244
4.6	Építési hulladék hasznosítása	248
4.7	Villamosipari és elektronikai hulladék (VEH) újrahasznosítása	253
IRODALOMJEGYZÉK		258