

A környezet igénybevételének vonatkozásai

A MŰSZAKI ÁLLAPOTFENNTARTÁS TECHNOLÓGIÁIBAN

Gregász Tibor adjunktus és **Korondi Endre** docens

(Budapesti Műszaki Főiskola Rejtő Sándor Könnyűipari és Környezetmérnöki Kar)

Írásunk kitűzött célja, hogy az energia- és nyersanyag-felhasználás, valamint a környezetre nehezedő terhelés szempontjából együttgondolkodásra hívjuk az olvasókat. E gondolatok a föld ásványkincseinek mennyiségéről, a többször javítható termékek életciklusának – előtérben a karbantartás – környezetre gyakorolt hatásáról, egy szervezet karbantartási rendszerénél a környezettudatosság szintjének objektív megítéléséről, valamint a fejlesztők felelősségének jelentőségéről születtek.

KIMERÜLŐ MATERIÁLIS ERŐFORRÁSOK

A Föld erőforrásai a civilizált életformák elterjedésével és fejlődésével arányosan csökkenőben vannak, de a helyzetet inkább a „kimerülőfélben” kifejezéssel lehetne pontosabban leírni, ezért a felhasznált alapanyagok miatt kisebb, míg az energia-előállításra szánt nyersanyagok egyre nyomasztóbb gondot jelentenek az emberiség számára.

Életminőségünk fenntartására és a természetünkben fakadó igénytől hajtva, a folyamatos fejlesztésére egyre több nyersanyagot és az ezekből nyert energiát fordítunk. Ez a természeti erőforrások fokozott kiaknázásával jár együtt. További probléma, hogy a fejlettebb társadalmakban ennek szintje alapján is magasabb, a most felzárkózó társadalmakban pedig a nagyobb népesség miatt soha nem látott dinamikával növekvő.

A Föld nyersanyagainak kitermelhető mennyisége ezzel szemben csökken. Még az optimista beállítottságú kutatók szerint is, a jelenlegi felhasználási és becsült növekedési statisztikákat is figyelembe véve, a legjelentősebb ásványaink kimerülési ideje is emberöltő nagyságrenddel jellemezhető. Ezek közül kiemelkedő jelentőségű a kőolaj és a földgáz, hiszen ezek nem csak a legújabb mesterséges anyagainknak

az alapanyaga, hanem jelenleg a növekvő energiaigényünket kiszolgáló energiahordozó is.

Ezekhez az adatokhoz az alábbi elgondolkodtató tények bonyolítják a helyzetet:

- ♦ sok technológiában a felhasználás takarékosabb lesz a visszaforgatás mind nagyobb részarányával;
- ♦ az energia előállítására alternatív forrásokat is igénybe veszünk, ugrásszerű növekedési mérték mellett;
- ♦ bizonyos ásványfelelések felhasznált mennyisége csökkenhet a technológiák átalakulásával és hatékonyabbá válásával (pl. egyre több technológiából számúzik az ólmot, valamint sok fém kerül kiváltásra a legkülönbözőbb polimerekkel);
- ♦ a kőolaj és a földgáz, az energiatermelésben betöltött jelentős szerepe mellett, a szerves-polimertechnológiák – ma még – meghatározó alapanyaga. A szintetikus polimerek felhasználásának növekedése a fémek és a természetes polimerek (fa, bőr, textil szálanyagok, papír) kiváltásán keresztül is súlyosbítja a helyzetet.

Általánosan kijelenthető viszont, hogy a technológia fejlődése egyre több és nagyobb bonyolultságú gépet és elektromos energiával hajtott berendezést követel, amelyek előállítására és működtetésére, de még a megsemmisítésükre is nyersanyagra van szükség. Ezek különböző mértékben fogyóban, kimerülőben vannak.

Az előállított fogyasztási cikkek egyaránt szolgálják az életünket és intellektuális kiteljesedésünket, vagyis a civilizáció fennmaradását. Egyre több „nélkülözhetetlen” gondolt használati tárgyat hozunk létre, ami magával vonja az előállításukra épített gépi berendezések, gyártórendszerek szaporodását is. Hogy a környezet kisebb terhelésének szempontja is érvényesüljön, gyártásukra és megsemmisítésük/újrahasznosításuk körülményeire mára korszerű „kör-

nyezettudatos” elvek és technológiák fejlődnek ki. Bár a környezeti terhelés növekedése a volumennövekedés miatt kimutatható, szerencsénkre hatékonyabb energiafelhasználás és termékegységként kevesebb értékes – ráadásul visszaforgatható – nyersanyag jellemzi a modern kor termékeit.

A TERMÉKEK ÉLETCIKLUSÁT ÉRINTŐ KÖRNYEZETTUDATOSSÁG

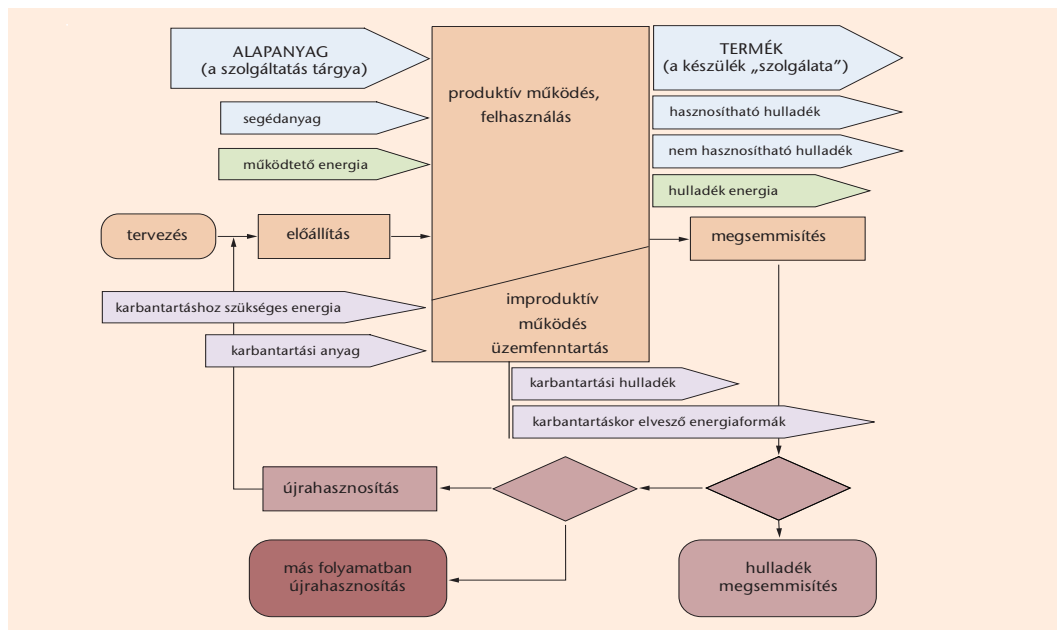
A termékek életciklusának környezeti terhelésre gyakorolt hatásával többen és hatékonyan foglalkoznak, a tervezési, az előállítási, a működtetési és a megsemmisítési/újrahasznosítási fázist illetően. Már a tervezésnél, amit lehet, számítógépen megépítenek, virtuálisan tesztelnek, szimulálnak, próbálgatnak, megkeresve akár a környezet számára is előnyösebb változatot. A gyártástechnológiában kis erőforrásigényre és kevés károsanyag-kibocsátásra optimalizálják a folyamatokat, a hulladékokat pedig minél nagyobb arányban visszaforgatják. A megvalósításra akár a környezetre ügyelő irányítási rendszereket építenek ki. Az igényeinket kiszolgáló üzemeltetéskor minél alacsonyabb energia- és anyagfelhasználásra törekcsenek,

úgy a mosógép, mint az ipari hűtők vagy a repülőgép-turbina tekintetében. Az egyre terjedő gyakorlatban az életciklusuk végén feleslegessé váló termékek anyagainak minél nagyobb része könnyen visszaforgatható, de legalábbis égetőműbe juttatható, legvégső esetben a szeméttelpeken rövid idő alatt ártalmatlan kis-molekulájú anyagokká degradálódó.

A tárgyaláshoz külön kell választani a termékek működtetési fázisának két funkcionális részét, ami lényegében két fogalmat takar, a *produktív* és az *improduktív működési szakaszt*.

- ♦ Az eszköz működtetésével a felhasználási életszakaszban a fogyasztói igények kielégítése történik, amit produktív működési szakasznak nevezünk el. Ebben a szakaszban a hűszárító meleg levegőt fűj, a nyomdagép újságot nyomtat, a gépjármű embert és árut szállít két földrajzi pont között. Mindezt egyre nagyobb környezettudatossággal tervezett módon teszi.
- ♦ A biztonságos üzemeléshez azonban a berendezések kisebb-nagyobb mértékben igényelnek karbantartást, amit a működtetési életszakaszban improduktív működési szakasznak definiáltunk. Az itt előforduló spontán hibák következményeinek kockázatát egyre több

1. ábra. Egy általános termék életciklusai és a vele való „gondoskodás” fázisai, valamint az anyag és energiaáram egy termék felhasználási ciklusában



helyen elemzik (FMEA stb.), de nem annyira a környezetkárosítás és -terhelés mértékének a megállapítása a fontos, mint inkább a bal-eseti kockázat és az üzemelési biztonsága. A tervezett karbantartások esetén pedig az újbóli üzembeállítás idejének (MTTR) és költségének a minimalizálására törekcsenek elsőként.

Az általunk vizsgált improduktív működtetési fázisokban, a természeti erőforrásigény vonatkozásában, a hibajavítási, karbantartási tevékenységeknél azonban nem látszik egyértelműnek a jó irányú fejlődés. A termék- és technológia-tervezésnél nem kiemelt fontosságú a környezeti hatás teljes körű elemzése. Az alkalmazott karbantartási stratégiák szerint végzett improduktív üzemfenntartás a környezetet valamilyen vonatkozásban mindenképpen terheli, de a terhelés szintjét a jól megválasztott stratégia (különösen a hosszabb élettartamra tervezett berendezéseknél) alapvetően befolyásolhatja. A később összefoglalásra kerülő stratégiákkal kapcsolatban gondolatébresztő példák lehetnek az alábbi felvetések.

Az eseti stratégiánál a hibák spontán megjelencsor az ártalmatlan leállástól a katasztrófális kimenetelű havária helyzetekig számításba lehet venni a következményeket és a környezetre gyakorolt hatásokat. (Kellemetlensége mellett ártalmatlannak tekinthetünk egy irodai légkondicionáló leállását, de katasztrófához vezethet egy vegyi reaktor keringtetőszivattyújánál a csapágó törése vagy a hajtóművek üzemanyagellátásának megszűnése egy repülőgépen.) Az egyszerű hiba, de a katasztrófahelyzet elhárítása és a kármentesítés maga is erőforrásokat von el, hulladékokat és szennyeződést termel. Gondoljunk például a cserealkatrészekre, a károsodott többi alkatrészben levő kidobott ásványkincsre vagy a kárba vesző nyersanyagra. De terhelést jelent az alkatrészek és segédanyagok alapos védőcsomagolása, az elszívások, az égés- és bomlástermékek megjelenésétől akár a talajcseréhez felhasznált és elfüstölt gázolajig a további járulékos terhelések. Lehetnek tehát olyan esetek, amikor a megelőzés tényleg a kisebb környezeti terhelést valószínűsíti meg. A kisebb környezeti kockázatot hordozó folyamatoknál és berendezéseknél viszont lehet, hogy gazdaságilag jobb a még működő alkatrész mielőbbi cseréje, de a környezetet tekintve jobb lenne azt az élettartama végéig

„kijáratni”. Ilyenkor nincs szó szemétkbe dobott „maradék-élettartamról”, valamint a beavatkozások miatt az időegységre jutó környezeti terhelés a legkisebb.

A megelőző beavatkozásoknál a gépeken meghatározott időnként tisztításokat végeznek, ami sokszor az egyszerű mechanikai tisztításkor (portalanítás, törlés) is veszélyes anyagok keletkezésével jár, de oldószerek bevetésével a környezetet még jobban terhelő szemétk keletkezik. A kicserélt alkatrészek és kenőanyagok mennyisége, azok csomagolásai, a szállítással járó szennyezések, a beépítéskor, majd az újra beüzemeléskor keletkező selejtek meghatározhatják egy gépre kialakított prevenciósi stratégia környezeti terhelésre vonatkozó „jóságát”.

A rögzített ciklusú karbantartásnál a környezeti terhelés számára rendkívül fontos a tönkremeneteli pont minél pontosabb megközelítése, így a kisebb mennyiségben kidobott működési tartalékok (vagy a tartalék élettartam). Miután ritkábban fordul elő a havária helyzet okozta megnövekedett terhelés, a stratégia sokszor előnyösebb a környezet számára. Akár még kisebb lehet a beavatkozásokra jutó fajlagos terhelés, ha a ciklusosan megjelenő teendőket jól összehangolják. A tervezés jóságától függően számítani kell azonban az alkatrészekkel kidobott maradék-élettartamokra, a sűrűbb gondozás miatt a nagyobb mennyiségű tisztító, kenő, „ápoló” anyag és a belőlük adódó veszélyes anyagokra, vagy az indítás/leállítás miatt selejté vált nyersanyagra. Hogy a negatívumok mennyire jelentkeznek, az a tönkremeneteli határállapot megközelítésének pontosságán múlik. Viszont ellentmondást jelent a minél későbbi beavatkozás igénye és a minél kisebb valószínűséggel létrejövő meghibásodás.

Az állapotfigyelő karbantartásnál az előbb említett tönkremeneteli pont biztosabban közelíthető. Így a hirtelen hibából és a leállásból következő, környezetet is igénybe vevő már ismert hatások nem jelentkeznek. Azonban a diagnosztikára létrehozott berendezések előállítás, üzemeltetése, dinamikus fejlődésükkel járó szüntelen cseréje, a működésüket megalapozó óriási számítástechnikai infrastruktúra és mindezek karbantartatása viszont további újabb elemként jelentkezik a környezet terheltségét okozó tényezők sorában. A kiszervezett diagnosztikai küldetésű vállalkozások működtetik a saját szervezetüket, illetve jelentős távolságokat kény-

telenek megtenni a kisebb-nagyobb berendezésekkel – persze a „kőolajjal” hajtott gépjárművek segítségével.

Minél bonyolultabb, összetettebb egy berendezés, annál erőforrás-igényesebb, a környezetet jobban megterhelő folyamatról és műveletekről van szó, továbbá az előzőekből levezethető, hogy az improduktív szakasszal járó környezeti terhelés a gépállapot, a karbantartásigény és a tervezett élettartam függvényeként alakul. Egy termék vagy létesítmény felhasználási ciklusa környezeti terhelésének elemzéséhez figyelembe kell venni a be- és kimeneti anyag és energiaáramokat, a produktív és az improduktív kategóriákban egyaránt.

Amikor beruházási változatok közül válogatnak, a produktív terület környezeti tényezőit alaposan szokták vizsgálni. Ezek gyakran össze is függenek a gazdaságossággal, és esetenként szabványelvárások, netán direktívák vonatkoznak a megengedhető terhelés mértékére. Az improduktív tevékenységekkel kapcsolatos gazdasági kérdések is ismertek a döntéshozók részéről, hisz a karbantarthatóság és az üzemfenntartás költségvonzata a szempontrendszer része. Viszont a környezetre ható terhelés további szempontjai nem feltétlenül anyagi jellegűek, így a döntésben megjelenő súlyosságuk csökken, holott hosszú élettartam esetén a figyelembe nem vett, de kumulálódó környezeti hatás jelentős különbséget okozhat.

A KARBANTARTÁS STRATÉGIAI KÉRDÉSEI

A létesítmények és tartós fogyasztási cikkek esetében a felhasználási ciklus része a megfelelő működést biztosító, értékmegőrző szerepet betöltő karbantartás.

A karbantartásra néhány évtizeddel ezelőtt a problémaközpontúság volt a jellemző – az alapvető cél a hibák elhárítása volt. Ezt a gondolkodást egy-két évtizede az alkalmazási területtől függő sebességgel a folyamatorientált karbantartási szemlélet váltotta fel. Központi céllá a megelőzés, a működőképesség fenntartása lett. Napjaink IKT-technológiái az emberi tapasztalat hatékony felhasználásával létrehozták a tudásbázisú karbantartást.

Részletesen elemezték az eseményfüggő (hiba esetén javító, operatív), időfüggő (merek periódusú, hagyományosan „TMK rendszerű”) és az állapotfüggő karbantartás (CBM) sajátosságait.

Egy adott esetben közülük a megbízhatóság és a biztonság mellett gazdaságossági szempontok szerint is kell választanunk.

Elsősorban az állapotfüggő karbantartás hozta létre a diagnosztikai eljárások hihetetlen fejlődését. A humán gyógyászatból átvett vizsgálati módszerektől a tudásbázisú szakértői rendszerekig számos eljárás tette lehetővé a vissza- és előrettekintő elemzéseket. A passzívan reagáló, *reaktív* karbantartás helyett megjelent az *aktív*, előrejelző és a valós idejű adatokat felhasználó *proaktív* karbantartás fogalma.

Tartós fogyasztási cikkeknel – így például gépjárműveknél – is megjelent az időszakos állapotvizsgálat mellett az akár folyamatos, on-line állapotfelügyelet. Az aktív és passzív diagnosztikai eljárásokat beépített érzékelők és indikátorok teszik még hatékonyabbá.

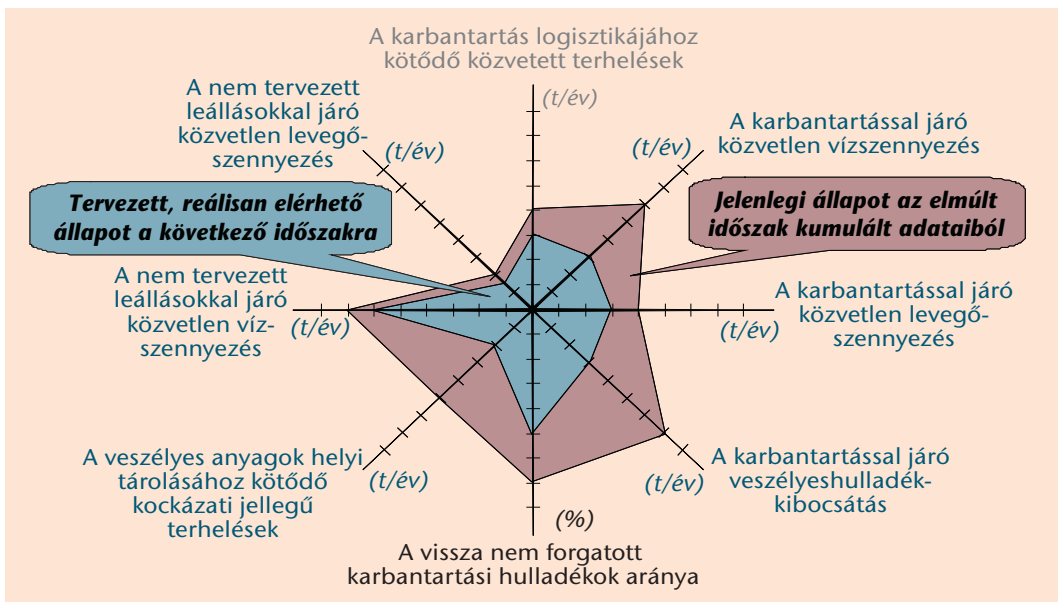
Az emberi tényezőre is épít a karbantartás-szervezési módszerként elterjedt *teljes körű hatékony karbantartás* (TPM).

A nagyméretű, elsősorban technológiai komplex rendszerek esetében a kezdeti stratégiák csak igen nagy költséggel biztosították volna a rendelkezésre állás és biztonság megkívánt magas fokát. A gyakorlati igények kielégítésére megjelent a *megbízhatóság-központú* karbantartás (RCM). Elemezve a tágabb üzemi és társadalmi környezetre gyakorolt hatásokat, azok valószínűségét és hatásuk súlyosságát, következő lépésként eljutottak a *kockázatalapú* karbantartásig (RBM).

Európában is terjed az eddigi karbantartási elemeket szintetizáló *kockázatalapú felülvizsgálat és karbantartás* (RBIM). Ennek a diagnosztikai lehetőségekre épülő vizsgálati eleme (RBI) minőségi elemzéssel kiszűri a nagy kockázatú elemeket, majd ezek kockázatát mennyiségi elemzéssel határozza meg, kockázati mátrixot és rangsort hozva létre. A végső cél természetesen az optimális karbantartási stratégia kiválasztása és ennek alapján a felülvizsgálati/ karbantartási program kidolgozása.

A KARBANTARTÁS KÖRNYEZET-TUDATOSSÁGÁNAK OBJEKTÍV ÉRTÉKELÉSE

Elképzelésünk szerint egy szervezet karbantartási tevékenységének és rendszerének környezetre gyakorolt hatása számszerűsíthető. Mivel számos tényező befolyásolja, ezért a számszerűsítés sem oldható meg egyszerűen egyetlen



2. ábra. A környezettudatosság számszerűsítésének elvi lehetősége

mérőszámmal és dimenzióval. A minőség és a vevővel kapcsolatos folyamatok elemzésénél gyakran alkalmaznak poligonokat a mérhető – vagy a nehezen, de számszerűsített – szempontok megjelenítésére. Hasonló logikával képzeljük el egy adott karbantartási rendszer környezeti terhelése mértékének objektív megadását. Amennyiben a terhelés mértékével egyenesen arányos tengelyeket definiálunk, a *környezetterhelési profil* jól leírhatja egy időszak ilyen irányú eredményeit.

A minőségpoligonoknál megismert módon a célként kijelölt értékek is megjeleníthetők egy időben, így a kettős ábrázolás a célok elérésének fokát is képes ábrázolni. Ezenkívül különböző időszakok összehasonlításai vagy akár ilyen irányultságú benchmarking-eredmények is láthatóvá tehetők.

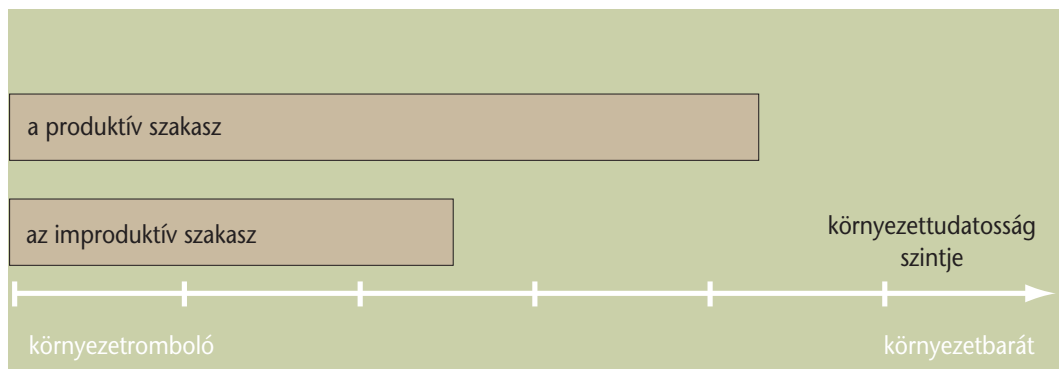
A FEJLESZTŐK FELELŐSSÉGE

A tágabb értelemben vett tervezés és a fejlesztés mérnökökből és marketingszakemberekből álló komplex szervezete – az előzőekben leírtak szerint – fokozott felelősséggel tartozik, hogy olyan termékeket hozzon létre a társadalmi igények kielégítésére és olyan igényeket generáljon a társadalomban, amelyeknek teljes életciklusában a környezettudatosság érvényesül.

A tartós fogyasztási cikkek és létesítmények esetében a fenti stratégiák és filozófiák csak részben alkalmazhatóak. Az értékmegővés általános igénye és az új termék vásárlására buzdító promóciók ellentéte a fogyasztói társadalom sajátja. Korunkban a hagyományosan hosszú megtérülési idejű létesítmények életciklusa is néha nagyon rövid (pl. épületek). Ugyanakkor bármennyire is felgyorsul az újratermelés ciklusa, a felhasználási ciklus improduktív működtetési fázisainak gazdaságosságát, környezetbarát voltát az alkalmazható karbantartási stratégia és ezért alapvetően a termék konstrukciója határozza meg.

Korábbi állításunk, miszerint a produktív szakaszra egyre nagyobb környezettudatosság jellemző, egyre szélesebb körben érzékelhető. Manapság ez már nem csak hatósági és általánosan fogalmazott társadalmi elvárás, hanem az igényes vásárló is egyre tudatosabban várja el termékekre, működési elvre, technológiára, irányítási rendszerre egyaránt. Véleményünk szerint, ehhez képest az improduktív szakasz fejlettsége ettől elmarad – azaz az üzemenntartás elvei, anyagai és a tervezéskor előre meghatározott tevékenységei.

A fenti ábrán látható különbség mérséklésére a következő néhány példát hozhatnánk.



3. ábra. A környezettudatosság általános fejlettsége a felhasználási életciklus két összetevőjében

- ♦ Korrozíóállóbb, nehezebben degradálódó, könnyebben tisztítható, kevesebb kenést igénylő felületek a fizikailag érintkező, súrlódó felületeken.
- ♦ Kevesebb aktív felügyeletet és beavatkozást igénylő termékkonstrukció és anyagok alkalmazása.
- ♦ Berendezésre szabott, kisebb környezeti terheléssel járó karbantartási technológia.
- ♦ Kisebb környezeti terhelést jelentő logisztika az üzemfenntartási tevékenységekre és az anyagok berendezésekhez juttatására.
- ♦ Az igényeket követő és az azt generáló fejlesztők, felhasználók kultúrájába ivódó környezettudatosság.

Az életciklus felhasználási szakaszának részletesebb elemzését, majd az ehhez kapcsolható karbantartási stratégiák sajátos vonatkozásainak tárgyalását követően végül néhány tézis fogalmazódik meg a tartós fogyasztási cikkekre és létesítményekre vonatkozóan.

- ♦ Az életciklus felhasználási, üzemeltetési periódusa a nagyobb bonyolultságú és drágább bekerülési összegű termékeknél és létesítményeknél meglehetősen hosszú lehet, így az üzemfenntartási, karbantartási tevékenységek összegzett környezeti terhelése is jelentős lehet. Vagyis a nagyobb tervezett élettartamú berendezéseknél még hangsúlyosabb a környezettudatos működtethetőség, mind a produktív, mind az improduktív területeken
- ♦ A környezettudatosság szintje függ továbbá a társadalmi környezet fejlettségétől. Egy technológiailag élénjáró országban „zöldebben” gondolkodnak, így ott kialakul az a fajta környezeti kultúra, amely még az improduktív

szakasszal is érdemben fog foglalkozni, pénzt, időt nem sajnálva.

- ♦ A felzárkózni vágyó nemzetek még a tervezés és gyártás szakaszára fókuszálnak, hogy megfeleljenek a „nagyok” szigorú követelményeinek, az improduktív karbantartási tevékenység ökológiai hatásainak mérsékelésére nincs módjuk.
- ♦ Általánosan kijelenthetjük, hogy a felhasználási szakaszhoz kapcsolódó környezeti terhelés mértéke már a tervezéskor „beépül” a termékbe, az üzemeltetéskor tanúsított jó szándékkal már csak kisebb módosítást tehetünk ezeken az „öko paramétereken”.
- ♦ A jobb életminőséget biztosító használati tárgyaink egyre bonyolultabbak, elektronikával és az embert védő biztonsági, tájékoztató és kényelmi elemekkel kiépítettek, amit a vezető gyártók sokszor túlhajtott technológiai fejlődése és az ezzel egyidejű „felpumpált” fogyasztói igények generálnak.

Mondandónk legfőbb célja felhívni a figyelmet arra, hogy a fenntartás és a karbantartás csak egy rendkívül kicsi halmaza a globális felmelegedést és az erőforrások kimerülését okozó hatásoknak, de a fogyasztói társadalom működését alapvetően meghatározza műtárgyaink, tartós fogyasztási cikkeink működése és fenntartása. Mindebből következik, hogy az erre irányuló kreativitásunk mi és unokáink jövőjére nézve meghatározó jelentőségű. Amennyiben az improduktív üzemeltetési szakaszok környezeti terhelésével való törődés érték a társadalom és a működtetők számára, ez az igény a tervezőkig is el fog jutni, valamint kiterjed a ma még kevésbé tudatos felhasználók felé is.