

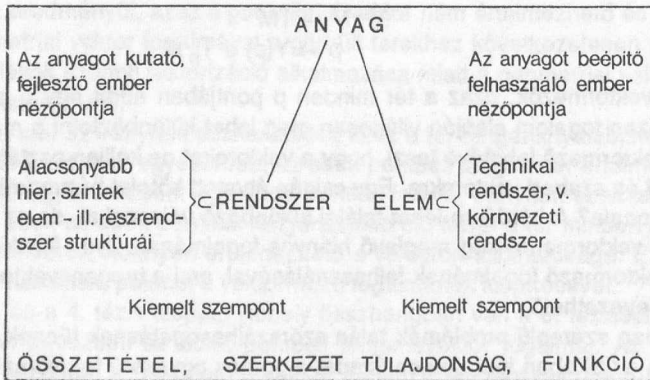
Ismeretszintézis a technikában

Anyag – rendszer – technológia

BÉRCZI SZANISZLÓ

Életünk az anyagvilág folyamatai közepette, az anyagvilágból formált tárgyak körében, ezek színpadán zajlik. A technika tantárgyban a használati tárgyakat készítő iparok jogot kaptak a technológiák köréből ismeretrendszerek bemutatására, az a lehetőség azonban, hogy természettudomány és technológia egyszerre képezzen háttérrel az anyagvilág megismertetésében, az oktatásban mindmáig kihasználatlan.

Milyen szempontokat emelhetünk ki e köztös háttérű anyagrendszerteran számára? Olyanokat, amelyek a szétszedő-fölbontó vizsgálati és az összerakó-építő mérnöki szemlélet számára egyformán fontosak. Cikkünkben négy olyan szempont-együttest mutatunk be, amelyek a rendszerszemléletből fakadnak. (1. ábra) Előbb tömören megnevezzük és elemzés-láncba kapcsoljuk össze őket, majd példákon illusztrálva mutatjuk be részletesen mindegyiket.



Az anyagrendszerteran első alapelve az, hogy bármely anyag többféle elemszintre fölbontható, s e szinteken meghatározott ismétlődő elemekből tevődik össze. A megnevezett elemszint elemtípusainak és ezek mennyiségének lényeges szerepe van az anyagtulajdonságok kialakításában: ezt a jellemzőt nevezzük *összetételnek*. (Példa a kémiai elemek szerinti összetétel.) A kiválasztott fölbontási szinten az ismétlődő elemek különböző kapcsolódási rendszereket formálhatnak: az elemek kapcsolódási módjait nevezzük szerkezetnek. A szerkezet mindig elemszinthez tartozik. (Példa a kristályos anyagok kristályszerkezetének rendszere.)

E két anyagrendszerterani jellemző: az összetétel és a szerkezet elvont ismeretcsoportok. Felismerésük az analitikus anyagvizsgálati tudományágak fölbontó-szerkezet-elemző munkájának eredménye.

A mérnöki konstruáló munkában ezzel szemben az anyagok – első közelítésében – elemek; például egy gép meghatározott formájú alkatrészei.

Németh László írja: "egy szétszedett gép: nem gép, hanem egy csomó csavar, ke-
rék. A gépet nem elemeiből lehet megérteni, hanem rendeltetéséből; nem önmagából,
hanem amit önmaga fölött csinál. Ez a feladat szabja meg a struktúrát, melyben a ré-
szek értelmet nyernek". Szerepkörtől függően az anyagoknak más-más tulajdonságait
használja föl a tervező: számára a mérhető anyagjellemzőkben összegződik mindaz,
amit az összetétel és szerkezet belső kapcsolatrendszere eredőként fölmutat. Tehát:
a *tulajdonságokon* múlik az anyagok funkciója (szerepköre), melyek az anyagok leg-
hétköznapiabb értékmérői.

Előszámlálva s lánccá kapcsolva kiválasztott szempontjainkat: az összetétel-szer-
kezet-tulajdonság-funkció sorhoz jutunk. Példaegyüttesek bemutatásával keltjük életre
ezen elvont bevezető fogalom-csokor minden egyes tagját.

Összetétel

Összetételről annyiféle értelemben beszélhetünk, ahány féle módon elemeket (vala-
mint elemi, részrendszer és rendszerszintet) definiálni tudunk. Természetesen az így
definiált összetételszinteknek valamilyen gyakorlati jelentősége kell legyen ahhoz,
hogy érdeklődési körünkbe vonjuk.

Az összetétel tehát, az a fogalom, amely a vizsgálandó "elem" szintjét rögzíti (és ke-
zeeli) a rendszerek képletos – elem-részrendszer-rendszer – hierarchiájú felbontásá-
ban; számos *anyagegyüttest, összetételi módot és szempontot*, valamint ezekből
származó számos *összetételi technológiát* felölel. Több ezek közül el sem választható
a technológiától, és csaknem mindegyik szoros kapcsolatban áll a vizsgált anyag
szerkezetével is.

Kiralitás

A kiralitás (enantiomorfia) lényegét molekula-szinten mutatjuk be. A molekula-szim-
metria szerinti összetétel, azonos kémiai összetétel melletti, egymással tükörszimmet-
rikus molekulapárok létezésén alapul. A geometriailag felépíthető 320 kristályszimmet-
riai tércsoport közül 11 nem tartalmaz a csavartengelyre vonatkozó tükörszimmetriát.
Az ilyen kristályrendszerben kristályosodó anyagok enantiomorf kristályalakok-
ban is előfordulhatnak, azaz olyan párokban, melyek térbeli mozgatással nem vihetők
át egymásba. Az enantiomorf párok úgy viszonyulnak egymáshoz, mint a jobbkéz és a
balkéz.

A két, – kémiai szempontból egyenrangú – változat akkor jelenik meg külön össze-
tevéként, ha a struktúra kialakulása, vagy a környezeti hatások (esetleg mindkettő) az
egyik változatot kiténtetik. Molekulák szintjén az egyik változat az életstruktúrák kiala-
kulásához kapcsolható. Az ilyen anyagok vizsgálata legegyszerűbb módon optikai ak-
tivitásuk mérésével történik. Vizes oldatukban az egymáshoz képest tükörszimmetri-
kus molekulákból álló oldatok a rajtuk áthaladó poláros fény rezgési síkját egymás tü-
körképéként leírható módon változtatják meg. (Az oldatból kikristályosodva pedig a
már említett enantiomorf geometriai kristálypárokat adják.)

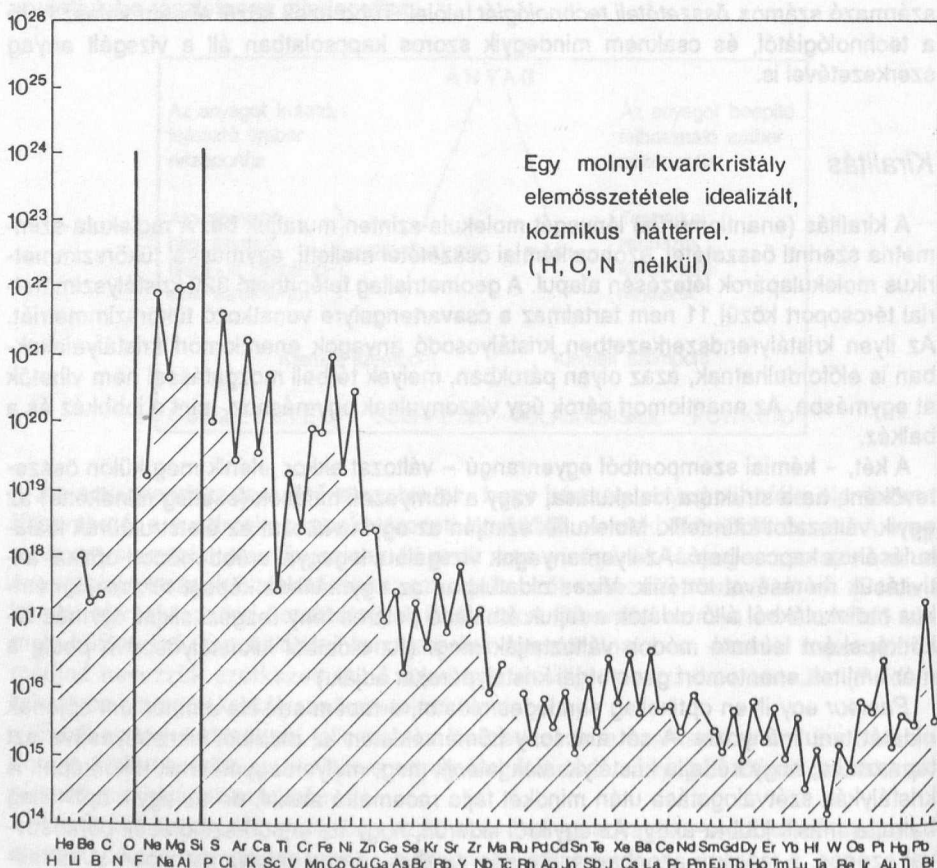
Pasteur egy ilyen optikailag semleges oldatot, a racém sav Na-ammónium sójának
oldatát tanulmányozta. A sötét alacsony hőmérsékleten az oldatból kikristályosítva azt
tapasztalta, hogy kétfajta kristálykaalak jelenik meg, melyek egymásnak tükörképei. A
kristálykák szétválogatása után mindkét fajta racémattá alakul, de az egyik optikailag
balra, a másik jobbra aktív. Az egyikről kiderült, hogy az erjedő szőlőlébeli borkősav-
val azonos, a másikra azonban azóta sem találtak rá az életfolyamatokban. A termé-

szeti folyamatok az élővilág kifejlődése során a két, egyenrangú tükörszimmetrikus variációból (alakból) kitüntették az egyiket. Az összetétel e sajátos szempontja arra világít rá, hogy a szerkezet milyen mély és szoros kapcsolatban van az elemekből felépülő (összetevődő) rendszer tulajdonságaival. Az anyagi összetétel és szerkezet meghatározásának egyik alapvető lépése, hogy rögzítsük az anyagi rendszer elemszintjét és vizsgálataának a "mélységét".

A technikában felhasználásra kerülő anyagoknál a vizsgálati mélység szintje ritkán – vagy csak speciális alkalmazások esetén – haladja meg az atomi szintet. Ezért általában a kémiai elemek atomjait (ionjait, molekuláit) tekintjük *elemi szintnek*. Mindazokat a szerkezeti szinteket pedig, melyek az anyag vizsgálata során az atomi szint és a makroszkópikus, felhasználási szint között vannak részrendszer szinteknek tekintjük. A leggyakrabban vizsgált részrendszer szintek a kialakuló fázisok és ehhez kapcsolódóan a szövetszerkezet szintjei.

Többségi elv

Az összetétel azért alapvetően fontos anyagvizsgálati jellemző, mert gyakran játszik fontos szerepet az anyagi tulajdonságok kialakulásában – melyet sokszor a szerkezet módosít. A *többségi elv* szerint az anyag sok tulajdonságát (részben a szerkezetét is) az összetétel határozza meg.

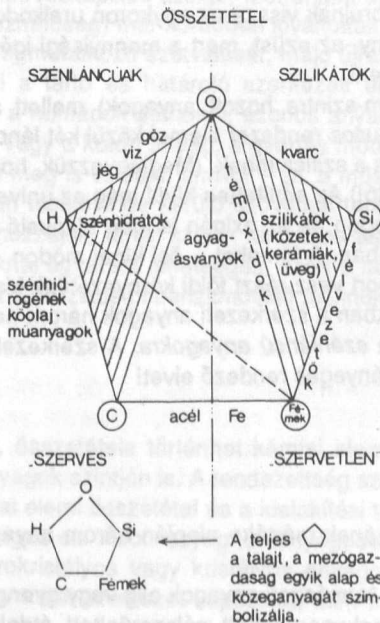


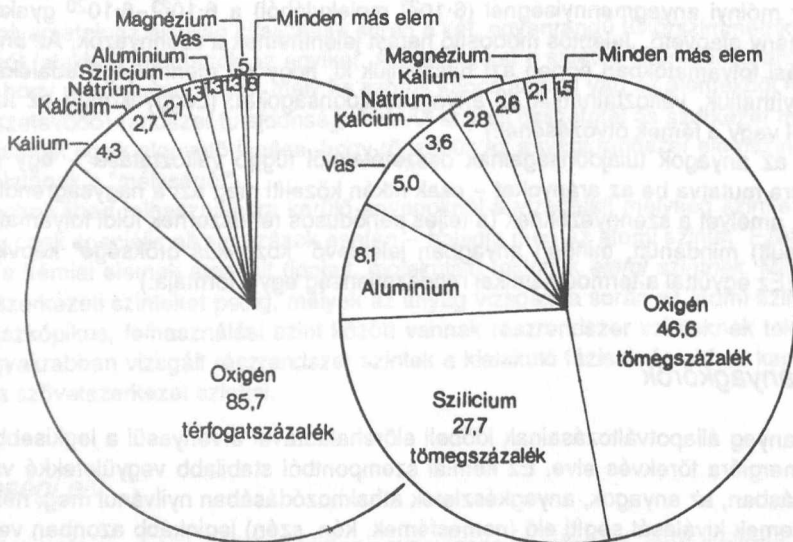
Egy mólyi anyagmennyiségnél ($6 \cdot 10^{23}$ molekulából) a $6 \cdot 10^{23} - 6 \cdot 10^{20}$ gyakorisági tartomány alapvető. Jelentős módosító hatást jelenthetnek a szennyezők. Az anyagátalakítási folyamatokban éppen azt használjuk ki, hogy kis mennyiségű adalékanyaggal javíthatjuk, változtathatjuk az anyagi tulajdonságokat. (Leggyakoribb ez az üvegeknél vagy a fémek ötvözésénél.)

Ma az anyagok tulajdonságainak összetételétől függő változtatása – egy mólyi anyagra mutatva be az arányokat – csak ritkán közelíti meg azt a nagyságrendi mélységet, amelyet a szennyezőknek (a teljes periódusos rendszernek földi folyamatokban módosult) mindenütt, minden anyagban jelenlevő "kozmosz öröksége" képvisel (2. ábra) (Ez egyúttal a termodinamikai rendezetlenség egyik formája.)

A fő anyagkörök

Az anyag állapotváltozásainak időbeli előrehaladtával érvényesül a legkisebb helyzeti energiára törekvés elve. Ez kémiai szempontból stabilabb vegyületekké való átalakulásban, az anyagok, anyagkészletek áthalmazódásában nyilvánul meg; néha természetes kiválását segíti elő (nemesfémek, kén, szén) leginkább azonban vegyületek kialakulásának kedvez. Környezetünk alapvető szerkezeti anyagai a periódusos rendszer néhány kiemelkedő jelentőségű elemének kombinációira vezethetők vissza. A 3. ábra jól szemlélteti, hogy az erodált (hidratált) szilikátok egyik szerkezeti anyagkomponensükön, a H_2O -n keresztül állnak kapcsolatban az élettelen, merev Si-vázzal szemben dinamikus, élő vázát építő, szén alapú anyagokkal, amelyeket itt röviden a szénláncúak (szénhidrátok) elnevezéssel jelöltünk. A berajzolt hét, kettőskombinációval szervezhető anyag típus mind alapvető elemkombinációkra utaló anyagokat jelöl: $Fe-C \Rightarrow$ acél (ötvözetek), $C-H \Rightarrow$ szénhidrogének, $H-O \Rightarrow$ gőz-víz-jég rendszer, $O-C \Rightarrow$ széndioxid-vegyületek, $O-Fém \Rightarrow$ fémoxidok (pl. kerámiák), $Si-O \Rightarrow$ kvarc és változatai. $Si-Fém \Rightarrow$ pl. félvezetők. (3. ábra)





A szilárd földkéregben térfogatszázalékban (4. ábra) rendre a K, Ca, Na, Si, Al, Fe, Mg a leggyakoribb fém-ionok. A két alkáli fémet főleg ipari ásványként (sókőzetek, salétrom), a Ca-t a mészkőből építőipari alapanyagként, pl. kötőanyagként (a cementben oxidáltan) hasznosítják. Részben ilyen területen folyik az oxidált Si és az Al hasznosítása is, bár az Si legismertebb alkalmazási körei az üveg és a kerámiák. A Ca, Mg, Al, Si, K elemek ezekben az anyagokban is oxidvegyületekként szerepelnek. Teljesen átalakított formában, fémként elsősorban a vas és az alumínium játszik kiemelkedő szerepet a technikában. (Csak kis mennyiségben, de annál hatékonyabban alkalmazzák a félvezető anyagok, logikai elemek gyártásában a "fém" Si-t.)

Természetesen ma már minden fémet alkalmaznak valamilyen technikai rendszerben: a felsoroltak közül pl. a Na egyes atomreaktorok primer körének fluid közege. Speciális részterületekre szorulnak vissza az egykoron uralkodó jelentőségű fémek: a réz, a cink, az ólom, az arany, az ezüst, mert a mennyiségi igényeket velük már nem lehet gazdaságosan kielégíteni.

A fémek (mint közel elem-szintre hozott anyagok) mellett a földfelszíni anyagok "szerveződésében" a periódusos rendszer elemei közül két lánccalkotónak van alapvető jelentősége: a szénnek és a szilíciumnak. (Megjegyezzük, hogy a szilícium, csak az oxigéneken keresztül lánccalkotó!) Az említetten kívül még az univerzum két leggyakoribb reakcióképes eleme, a hidrogén és az oxigén is igen alapvető jelentőségű környezetünk és saját testünk anyagiban. A fémeket – ősi kínai módon – egy csoportba gyűjtve, az ábrán látható öt csoport vesz részt földi környezetünk kialakításában. Ezek közül figyelmünket a továbbiakban a szerkezeti anyagok három nagy körére irányítjuk: a szilikátokra, a fémekre és a szénláncú anyagokra. A szerkezetük vizsgálata előtt tekintsünk át néhány további lényeges rendező elvet!

Anyaggenerációk

Az anyagok átalakítottságának mértéke alapján három anyaggenerációt különíthetünk el.

Első generációs anyagok: természeti anyagok alig vagy gyengén átalakítva.

Második generációs anyagok: nemesített, célszerűsített, átdolgozott anyagok.

Harmadik generációs anyagok: társított, összetett, kompozit anyagok.

Az eszközhasználat-eszközfejlesztés visszacsatolással fejlődési útja során az anyagok fejlesztése az egyre sokrétűbbé váló funkciókival és eszközökével párhuzamosan történt. Természetes állapotukat megmunkálási technológiák sorozatával kellett átalakítani. Legismertebb anyagátalakító technológiák az olvasztással történő fölaktíválás, majd az irányított, később már szabályozott lehűtéssel való szövetalakítás: az edzés. A fémeknél ötvözéssel és többször megismételt szövetjavítással érték el leginkább a megkövetelt szívósságot, keménységet és rugalmasságot (pl. acélnál). Az üveg alaptulajdonságait az összetétel és a gyors lehűtés adja meg. Az egyre szélsőségesebb tulajdonságokat produkáló, nagy mechanikai és termikus tűrőképességet megkívánó anyagokat a második generációra jellemző javítási és nemesítési technológiákkal nem lehetett gazdaságosan előállítani. Ekkor kezdődött meg – az építőipari vasbetonnál már régebben jól bevált – kompozit (társított) anyagkör kifejlesztése.

Társítás

A harmadik generációs anyagokhoz a különböző második generációs anyagok *tudatos* társításával jutott az ember. *Társított anyagok* vannak a természetben is. Fordítsuk figyelmünket a legfejlettebb élőlények felé. A gerincesek testének szerkezeti anyagai több lépcsőben egymásra épülő kompozit anyagok. A legfelső szint a csont+izom kompozíció (társítás), de maga a csont is (kollagén rostok közé kalcium-sók vannak beágyazva, ezért testünk mintegy másfél kilogramm kalciumsót tartalmaz) és az izom is (gél állapotú anyag, a sejtekből felépülő szövet lényegében polimerszálakkal erősített folyadék!) kompozit anyag.

A modern, harmadik generációs, társított szerkezeti anyagok az üvegszál erősítésű műgyanták, illetve a grafit, vagy bórszál erősítésű polimerek vagy fémek (főleg az alumínium, kis sűrűsége és lágy, gyenge szerkezete miatt). Társítással két anyag előnyös tulajdonságai egyesíthetők, szabályozhatók, sőt tudatosan formálhatók. A társítás az összetétel egy makroszkopikus szintje, mondhatni újabb szint az evolúcióban, de kényszerek (pl. hordozhatóság) már korábban kiváltották alkalmazását. A funkcióknak az anyagokban is megmutatókozó szétválását, majd újratársítását figyelhetjük meg az építészetben például a tartó és határoló szerkezeti elemek szétválasztásában; szétvált anyagokkal már a nomádok sátrainál, azonos anyaggal a gótikában. Másféle társított anyag a szövet, vagy a kötött anyag, a gyártás módja önmagában hordozta a társítás lehetőségét, ami meg is valósul, amikor – pl. a műszálak igen rossz nedvszívó hatása miatt – minden testközébe kerülő szövetnél természetes szálát (pamutot, gyapjút, stb.) is szőnek hozzájuk. Mivel szálak készítése ásványi anyagoknál, fémeknél, üvegnél, műanyagoknál egyaránt lehetséges, azért a társított anyagok széles körét kaphatjuk majd ettől a klasszikus dimenzió-növelő technológiától.

Kolloidok

Az anyagok keverése, összetétele történhet kémiai elemek, molekulák, ásványok vagy makroszkopikus anyagok szintjén is. A rendezettség szerinti szerkezetet gyakran jól meghatározza a kémiai elemi összetétel és a kialakítási technológia: főleg az olvadékból történő lehűlésre igaz ez. Adott anyagnál lényegében a lehűtés sebességétől függ, hogy üveges, mikrokristályos vagy kristályos anyagot kapunk-e. A szerkezeti anyagokra megadott összetétel-szerkezet kapcsolat, mint mikroszintű rendezés mellett, érdemes tanulmányozni egy makroszintű összetétel-szerkezet kapcsolatot is,

amelyben különböző halmazállapotú anyagok keverednek. Ezek a kolloid rendszerek, amelyekben az egyik fázisnak nanométer-mikrométer méretű részecskéi egyenletesen oszlanak szét a másik fázisban. Az ilyen rendszerek sajátos tulajdonságai abból fakadnak, hogy a diszpergált fázis igen nagy felületű. Ebben az anyagkörben olyan közönséges anyagok szerepelnek, mint a gél, a füst, a habok, stb. (5. ábra)

	AZ "OLDÓ", TARTALMAZÓ, (NAGYOBB TÖMEGŰ) FÁZIS			
		SZILÁRD	FOLYADÉK	GÁZ
A SZÉTSZORT, BEÁGYAZOTT, NAGY FELÜLETŰ, (KISEBB TÖ- MEGŰ), KOLLOID FÁZIS	SZILÁRD	NEHÁNY ÖTVÖZET	SZUSZPENZIÓK SÁROS VIZ	LEBEGŐ POR FÜST
	FOLYADÉK	VAJ GÉL	TEJ, MAJONÉZ EMULZIÓ	AEROSOL KÖD
	GÁZ	SZILÁRD HAB	FOLYADÉK HAB	—

Szerkezet

Cikkünk első részében az anyagok (mint természeti rendszerek) elemszintjeit vizsgáltuk, különféle (rendszerelemzési szempontból) eleminek tekinthető szinteket "elemeltünk". Az összetétel azonban a legtöbb esetben nem jellemez egyértelműen egy-egy anyagot. Az elemi szintre sorolt struktúrák kölcsönhatásban állnak egymással. E kölcsönhatás alapján épül föl az anyag hierarchikusan részrendszerekbe sorolható, csoportosítható néhány magasabb szerveződési szintje. Az elemek kapcsolódási módját, a magasabb szintek szerveződését nevezzük szerkezetnek.

Az anyagok elem-szintje (és így elemkészlete) vizsgálati szempontfüggő volt. Ebből következik, hogy a szerkezete is az. Mivel azonban a vizsgálataink során szóba kerülő "elemi" szintet (a példák túlságos szóródásának korlátozása céljából) rögzítettük, ezért a fejezetkörben többnyire az atomi struktúra szint, mint elemi szint fölé épülő szerkezeti szintekről, főleg a szilárd anyagok szintjeiről lesz szó.

A klasszikus anyagszerkezetről és anyagvizsgálatról szóló tankönyvek kiemelkedő helyet szentelnek az anyag mechanikai és termodinamikai tulajdonságainak és azokat elsősorban a szövetszerkezet függvényének tekintik. Pontosabban attól az úttól, eljárástól függ ez a szövetszerkezet, amelyet az előkészítés, a gyártás és a megmunkálás során a vizsgált anyag bejár.

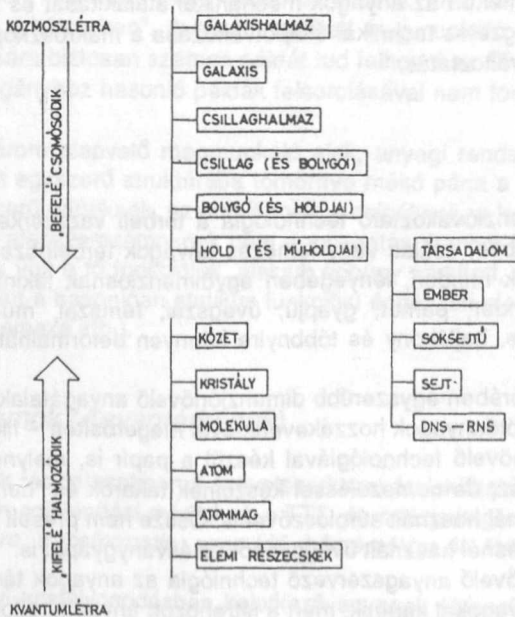
A szerkezet hierarchiaszintjei

A tehnikai anyag-megközelítés nem tünteti ki egyik szaktudomány szempontrendszerét sem, de nem is zárkózik el egyik tapasztalatkör elől sem, mindet igyekszik hasznosítani. A hármas hierarchiát, hármas vizsgálati szintet kiindulásra alkalmas felosztásnak tekintjük. Lényegében a szerkezeti anyagoknak, mint rendszereknek a hármas-rétegű tagolását foglalja magában az elem, részrendszer és rendszer felosztás. (6. ábra)

- elemi szerkezet (atomi és kötési szint);
- szövetszerkezet;
- makroszerkezet.

HIERARCHIA	SZERKEZETI SZINT		TULAJDONSÁG		
RÉSZRENDSZER	ATOM ÉS MOLEKULA SZERKEZETI SZINT	→	KÖTÉSTÍPUS RENDEZETTSÉG -KÉMIAI TUL. -PL. FEMES, TUL. -V. VEZETŐKÉPES -OPTIKAI TUL.		
RENDSZER		SZÖVET-SZERKEZETI SZINT	→	RENDEZETTSÉG MEGMUNKÁLHATÓSÁG -MECHANIKAI TUL. -OPTIKAI TUL.	
ÖSSZETETT RENDSZER			MAKRO-SZERKEZETI SZINT	→	MECHANIKAI TUL. -FELÜLETI TUL. -TÁRSÍTÁSI TUL. ALAK, FORMA, DIMENZIONALITÁS

Érdemes megjegyezni, hogy a kvantummechanikai, vagy a geometriai tárgyalásban csak két szintet különböztetnek meg: az elemi építőköveknak megfelelő egyrészecske közelítést (elem és kapcsolatai, atom és a kötéstípusok) és a sokrészecske rendszer leírását (a tömeges létből fakadó már makroszinten is vizsgálható tulajdonságokat). A szerkezet vizsgálatánál arra törekszünk, hogy olyan rendező szempontokat mutassunk be, amelyek vagy a legtöbb megközelítésben közösek, vagy közös alapját képezik a háromrétegű szerkezetismeretnek (pl. periódusos rendszer, kötéstípusok, kristályszerkezetek), vagy pedig sajátos, alkalmazáscentrikus kapcsolatokat gyűjtenek össze a különféle anyagi alapismeretek között (például kötéstípus-anyagi tulajdonságok, relációk; gyakoriság vagy fizikai tulajdonság értékek "leképezése" a periódusos rendszer anyagaira stb.).



Az anyag fejlődéstörténete a különböző méretskálákon megfigyelhető struktúrára, struktúra-halmazokra is építhető (7. ábra). Most, a szerkezetet szűkebb értelemben használva a hétköznapi élet anyagainak belső felépítését adjuk meg segítségével. A technika által a szerkezeti anyagok körében kezelt struktúra-szinteket három, jól elkülöníthető tartományra bontjuk:

- atom- és molekulaszervezet,
- a mikrovilág és az emberléptékű tartomány között félúton álló általános szövet-szerkezet,
- emberléptékű makroszkopikus szerkezet, amelyben a jellemző anyagi, mérhető, globális tulajdonságok (sokrészecske-rendszer jellemzői) és a dimenzionalitás elnevezés alatt összefoglalt geometriai tulajdonságok a leggyakoribbak.

Az atom- és molekulaszervezet részben még az általunk összetételnek elnevezett fogalomkörhöz kapcsolható, mert a kötéstípus sokban még atomi tulajdonság és gyakran ebből fakad (több makroszkopikus anyagmegmunkálási művelet mellett) a kialakuló rendezettség.

A második tartomány nemcsak az első szerkezetétől függ. Csupán rendezett, kristályos anyagok esetében beszélhetünk valódi szövetszerkezetről. A legnagyobb mennyiségben felhasznált anyagok, a fémek, a kerámiák, és az építőipari anyagok zömükben kristályos szerkezetűek. Az üveges anyagok e tulajdonságai első közelítésben közvetlenül az összetétel-tulajdonság-funkció rövidített láncon vizsgálhatók. Kristályos anyagoknál elkerülhetetlen az összetétel és a tulajdonság kapcsolatában a szövetszerkezetet is vizsgálni. Ezeket ebből a szempontból úgy is tekinthetjük, mint amelyeknél az összetétel a többrétegű szerkezeti jellemzőkön át közvetít a tulajdonságok tartományába. Több tulajdonság azonban a kristályos anyagok körében is gyakran kristályszerkezet-független (pl. a fémeknél a fémes szín, valamint egyes vezetési tulajdonságok), mert közvetlenül az atomi kötéstípus természetéből adódnak. Más makroszkopikus tulajdonságok (pl. a mechanikai tulajdonságok) lényegében a szövetszerkezettől függenek, ezért ezeket a szövetszerkezet egyes szintjein számottevően módosíthatjuk.

Makroszerkezeti szinteken az anyagok mechanikai átalakítását és társítását értjük. Az anyagok egyik jellegzetes technikai állapotváltozása a makroszkopikus szerkezet-adással való dimenzióváltoztatás.

Dimenzionalitás

A két legősibb dimenzióváltoztató technológia a térbeli vázszerkezet-építés és a szövés. A első a darabos, szálas vagy lemezes anyagok térbeli szerkezetté történő összeépítését, a másik minden, lényegében egydimenziósnek tekinthető anyagszál (pl. azbeszt, len, kender, pamut, gyapjú, üvegszál, fémszál, műanyagszál stb.) szövését, kétdimenziós, hajlékony és többnyire könnyen deformálható lemezzé való "összeállítását" jelenti.

A szálas anyagok körében egyszerűbb dimenziónövelő anyagátalakítás a préseléssel történő – esetleg kötőanyagok hozzákeverésével megerősített – filcezés és nemezelés. Ilyen dimenziónövelő technológiával készül a papír is, melynek szálas alapanyaga növényi cellulóz, de nemezeléssel készülnek takarók és "nemezelt" fémszálakból áll a mosogatásnál használt súrolószövet is. Össze nem préselt nemezelt üvegszálakból áll a szigetelésnél használt üvegyapot és ásványgyapot is.

Amikor a dimenziónövelő anyagszervező technológia az anyagok társításával párosul, akkor kompozit anyagokat kapunk, mert a létrehozott anyag társítottan képez egységes rendszert. Például a modern szövőipar kényszerült társított anyagú szövetek

előállítására; a műanyagszálakat keverni, társítani kell (legalábbis a testközömben véselt anyagok előállításakor) természetes, kiváló nedvszívó szálakkal.

Dimenzionalitásában fejlesztett anyagoknak tekinthetjük azokat a kompozit anyagokat is, ahol az elemi szén, bór vagy üvegszálak nagy szakítószilárdságát és rugalmasságát használjuk ki és a makroszkopikus forma kialakításával, műgyantába ágyazottnan vagy fémekkel társítva használjuk ki a szálak előnyös tulajdonságait (természetesen a térkitöltő és együtt-tartó közeganyag előnyeivel együtt). Ismert példa erre az üvegszál erősítéssel készített magasugró rúd.

A dimenzionalitás jelentősége mindennél világosabban mutatkozik meg az ősi és mindmáig alapvető anyagmunkáló eszközökön, szerszámokon. A legrégebbi anyagmunkáló eszközök azt tanúsítják, hogy a három alapvető térdimenzió irányában kisarkított szerszámok a legelőnyösebbek. A három alapvető dimenziót geometriai formákkal, térelemekkel vonatkoztatta el az ember; jóval később, mint amikor alkalmazta már pl. a tűben, a késben és a kalapácsban. A tű és ár kvázi-egydimenziós (félegyenes) szerszám. Kijelöli az erő koncentrálásának irányát, hegye révén pedig nagy nyomást fejt ki kis felületeken, ezzel könnyítve meg a munkába vett anyag folytonosságának megszakítását. Az egy dimenziót képviselő eszköz nulla-dimenziós, pontszerű "sebet üt". A megmunkáló tértartomány tehát a nulla-dimenziót jelenti. Továbbfejlesztett változata a fűrész, amely ismétléssel és dinamikával nagyobb kiterjedésűvé alakítja mélységében a "sebet". Az egydimenziós munkaeszközök más funkcióra, összehúzóerősítésre kifejlesztett változata a szög, illetve a csavar.

A kés a kvázi-kétdimenziós szerszám (félsík). Ahogyan a tűnél a félegyenes közeli végpontja, úgy a félsík (egy szakaszának) közeli éle a megmunkáló tértartomány; ez egydimenziós "sebet ejt" az anyagon. Továbbfejlesztett változata a fűrész, amely ismétléssel és dinamikával szintén nagyobb mélységűvé teszi a folytonossági hiányt. (Speciálisan kapcsolt kés az olló; kétdimenziós anyagokra két oldalról fejt ki hatását.)

A kalapács kvázi-háromdimenziós szerszám (féltér). Természetesen itt is csak a végtelen térből kihalított darab a munkaeszköz. A megmunkáló tértartomány egy felületdarab. A kalapács esetében a geometriai párhuzam kevésbé frappáns, mint a tűnél és a késnél, mert már nem "beágyazott" dimenziós, mint az előző példák eszközei, hanem "három a háromban". A három említett megmunkáló alaknak (szerszámnak) összekapcsolására biztosan számos példát tud felhozni az Olvasó is, ezért székercéhez, vagy buzogányhoz hasonló példák felsorolásával nem fosztjuk meg a felismerés örömeitől.

A felsorolt három alapvető megmunkáló alak, anyagi rendszer funkcionálisan egy makroszkopikus egyszerű struktúrába tömörítve méltó párja a testek mozgatására kifejlesztett egyszerű gépeknek, az emelőknak, a csigáknak, a lejtőknek és kerékeknek. Mivel azonban az alapszerszámoknak nem a mozgatás, hanem lényegében a "statikus" egymásra hatás volt a fő funkciójuk, alakjuk éppúgy sarkított, geometriai térelemekre emlékeztető, mint a hasonlóan statikus funkciójú építészeti elemeké (huzalé, póznáé, oszlopé, felületlemezé stb.).

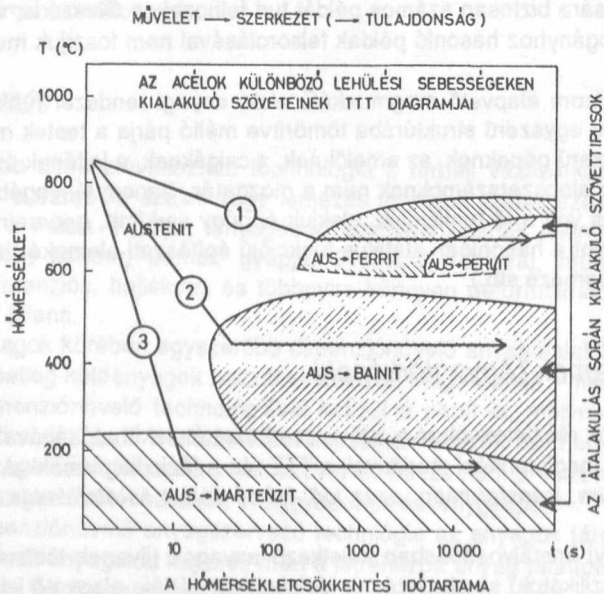
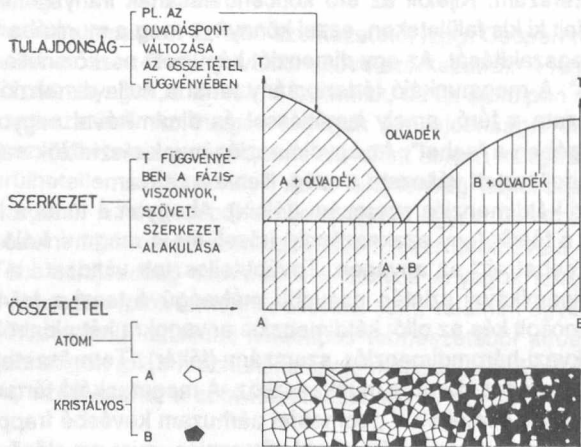
A fázisdiagramok (Anyagtérképek)

Foglalkozunk részletesebben a szövetszerkezet átalakíthatóságával és ennek "térképi", műveleti megjelenítési módjaival, a TTT- és a fázisdiagramokkal. (A TTT a *tempus, temperatura, transformatio, azaz idő, hőmérséklet és átalakulás latin szavakból ered. A szerk.*)

Az egyensúlyi kristályosodásban keletkező anyagok (ilyenek többségben a fémek és részben a szilikátok) szerkezetének kialakulását kétféle alapvető jelentőségű, fazi-

sokat és szövetszerkezetet (vagy rendezettséget) bemutató diagramon követhetjük nyomon. Szinte az anyagok időben és az összetétel függvényében kirajzolódó "szerkezeti térképének" tekinthetjük ezeket. A kétféle diagramtípus is jelzi, hogy az anyagok említett csoportjainak szerkezetét (és ezen keresztül tulajdonságait) alapvetően kétféle módszerrel szabályozhatjuk, módosíthatjuk, alakíthatjuk.

Az egyik szerkezetalakítási mód az összetétel változtatása (8. ábra). Ezt az utat itt most egy kétkomponensű, egyszerű fázisdiagrammal szimbolizáljuk, megemlítve, hogy a három- és négykomponensű rendszerek egyensúlyi kristályosodása is térképezhető ilyen módon. Ebben a szerkezetmeghatározó műveletben az összetétel megadásával lényegében kijelöljük a létrehozandó kristályos fázisokat (egyensúlyi kristályosítás), azonban különféle differenciáló hatások "rákapcsolásával" módosíthatjuk a végeredményt. (A természetben ilyen differenciáló hatás pl. a nagytömegű magmaolvadéokra ható gravitáció).



A szerkezet alakítása terén a lehülés időbeli menetének kézbentartása sokrétű műveletsort, átalakítási metódust tesz lehetővé (9. ábra). A lehülési sebesség változtatásával már nemcsak kristályos anyagok, hanem a kristályos egyensúlyi (egyenletes és durva szövetű) és az üveges, nemegyensúlyi rendezettségű (amorfi) anyag is előállítható. Ha a hőmérséklet időbeli változását úgy választjuk meg, hogy a hőmérséklet csökkenő, majd ismét növekvő legyen, akkor az anyag utólagos megmunkálásait, az edzést, szövetszerkezet-alakítást is összefoglalja a diagram. Szemben tehát az összetételváltoztatás – csak az adalékanyagok hozzáadásával létrehozható, de ezt négy komponens felett már csak nehezen követhető, korlátozott – ábrázolásával, a hőmérséklet-változtatásos (edzést, megeresztést, visszahevítést stb. is magába foglaló) műveletsor és az általa kialakított szövetszerkezet a TTT diagramokon egyszerűen bemutatható.

A szerkezetalakításról itt leírtaknak természetes továbbfejlesztése a két alapvető szerkezetmódosító módszernek – melyek két ideális szélső esetnek is tekinthetők – az összekapcsolása, ami az anyagok alakítására, tulajdonságainak formálására gyakorlatilag végtelen sok lehetőséget teremt. Évezredek óta átfogó technikai és tudományos fejlődés távlatából viszonylag egyszerű dolog e két (alapvetően eltérő lépésből álló) műveletsorozatra visszavezetni az anyagszerkezet kialakításának sokszor hosszadalmas és bonyolult, régen mesterversekben rögzített menetét. Annál jobban csodáljuk ennek fényében a középkor fegyverkovácsait, akik pl. a damaszkszi acél tevétrágyán történt edzésekor e két módszert alkalmazták párhuzamosan: a trágya nitrogénjével ötvözték, keményítették az acélt, a hőmérsékletváltoztatási lépésekkel pedig a szövetszerkezetét alakították.

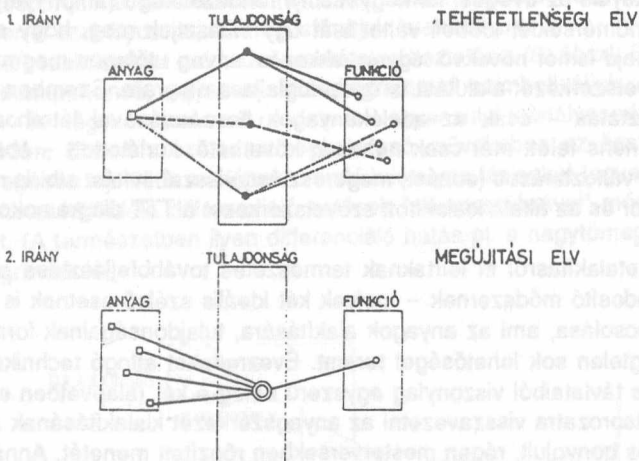
Anyagi tulajdonságok

Az anyagok fölhasználásában az összekötő kapocs az anyag, mint rendszer, és az anyag, mint a technikai rendszer eleme nézőpont között mindig a használhatóságot kifejező anyagi tulajdonság volt. Az anyagi tulajdonságok ismeretek az anyagokról; állapotjellemzők, melyek az anyagoknak a környezettel való kölcsönhatásában kialakult állapotait jellemzik. A kölcsönhatás lehet megfigyelt vagy tudatosan alakított. A megfigyelt tulajdonságok ismerete – pl. a szikla hasad – ősbibb, természeti gyökere, de ezzel összefonódóan ősiek a használat, mint állandó "vallatással" szerzett, technikai eredetű ismeretek is. A szükségletből vagy tudatosan fölhasznált és így kölcsönhatásba vitt-kényszerített anyagokról (állapotaikról és állapotváltozásaikról) gyűlt ismeretek rendszere az, amit anyagi tulajdonságoknak nevezhetünk. A természettudományok sarkították, specializálták azt a feltételrendszert, amelyben az anyagok viselkedésének mérése, összehasonlítása történt. Az élethelyzeteknek megfelelő használat azonban mindig sokszorosán összetettebb feltétel ennél. Ez az összetettség új és új szempontokat sugall a sarkított vizsgálatokhoz is, de fölntartja és tudatosítja a technikai alkotások végtelen gazdagságú feltételrendszerét is. Ezért értékes az anyagokról a használat során gyűjtött mindennemű ismeret!

Tulajdonság – funkció

Az anyagok felhasználásánál alapvető két elv:
 – bármilyen anyag, számos (elvben végtelen sok) tulajdonsága révén többféle funkciót betölthet;

- bármely funkciót (szerepet, státust, a követelmények által megkívánt helyet a rendszerben, szerkezetben, folyamatban) többféle, azonos tulajdonságokkal rendelkező anyag is betölthet.



A leghétköznapibb analógia alapján szerep-elvnek is nevezhetjük ezt a két alapirányra bontható technikai anyaghasznosítási elvet (10. ábra). Szempontjait tekintve az első a már bevált és megismert anyag minél sokoldalúbb kihasználását (és kihasználhatóságát) elemzi. Ez természetesen csak más adalékanyagok finoman módosító hatásával érhető el. Az első szempont a tehetetlenségi-elv által is támogatott, mert a műszaki konstrukciókra is igaz, hogy a rendszerek stabilitását a régóta használt és jól bevált anyagok és konstrukciók adják. A tehetetlenségi-elv és a szerep-elv anyagközpontú első pontja is mélyen gyökerezik a természeti struktúrák egymásra épülésének törvényében; abban, hogy a korábban kifejlesztött struktúrák készleteinek felhasználásával alakulhat ki a későbbi struktúra szint. A legbeszédesebb emlékeztető erre nézve az, hogyan tükrözi az anyagok gyakoriságát a földkéregben és atmoszférában (+hidroszférában+bioszférában) az ember által felhasznált anyagok gyakorisága. Az oxidált fémek (szilikátokban) a kiválasztott fémek és a szénlancú anyagok körének az aránya annál inkább megközelíti a kéregbeli (és burokbeli) készletekét, mennél magasabb szintre jutott a technikai civilizáció. (A kéreg és burok megjelölés a földkéregre ill. az atmoszférára, hidroszférára és bioszférára vonatkozik. A szerk.)

Amíg a szerep-elv első iránya az elmondottak alapján a stabilitási iránynak tekinthető, addig a második irány, amelynek a helyettesítési-elv elnevezést is adhatjuk, inkább az anyagok megújítására, a bevált struktúrában való kicserélésére, helyettesíthetőségére mutat utat. Bemutatja, hogy egy bevált struktúra hogyan maradhat életképes, például akkor is, ha további elterjedését, szaporodását és általánossá válását egy ritka szerkezeti anyag egy időre meggátolja. (Példa erre a réz kiszorulása bizonyos szerkezeti helyekről a fém viszonylag kis földkéregbeli gyakorisága miatt.) A megkívánt tulajdonságok tűrési tartományába, tulajdonságcellájába többféle anyag tulajdonságcellája belenyúlik, vagy ha ilyen nincsen, odatranszformálható, kiterjeszhető, kinyújtható összetétel- vagy szerkezetmódosító eljárásokkal (ötvözés, edzés, társítás).

A használat során felmért és kialakult tulajdonsági értékskála nem merev anyagsozort. Minden rendszer, így a használati tárgy (és anyaga) is a környezetével együtt tekintendő. Dinamikai hatásokkal is kiterjeszhető egy anyag tulajdonsága. (Például forgó papírkoronggal fát is lehet vágni.) A statikus értéksor, tulajdonsági sor tehát csak meghatározott szerepkörrel és környezetről (pl. egy rendszerbe, gépbe való beépítés)

környezetről, adott alakról és működésről) ad tájékoztatást. Az anyagok ilyen "etalon-környezetben" kimért tulajdonságai elsősorban a tervezést segítik és nem értékmérői egy-egy anyagnak (5. táblázat). Bár kezdetben lehettek azok is; akkor, amikor még emberléptékű kölcsönhatásban csak egyetlen kítüntetett szerepkörre használták az egyszerű anyagokat; qarabolásra, vágásra a kőbaltát, majd fémbaltát, vagy ugyanezekből az anyagokból késeket. Ekkor a kölcsönhatás "erősségét" az emberi képességek meghatározták, a megmunkálás tehát a megmunkáló és a megmunkált anyag közötti szilárdsági, keménységi tulajdonságbeli különbségen alapult. Természetesen már a dinamikai hatás, az ismétléses művelet (pl. fűrészelés, fúrás) lehetővé teszi, hogy egy anyaggal önmagával megegyező anyagot megmunkáljunk: fát fával, követ követel, vasat vassal, acélt acéllal. Legtöbbször azonban előnyösebb az anyagok közötti szilárdsági különbségeket is figyelembe venni: ez megkönnyíti – pl. rövidebb idejűvé teszi – a megmunkálást.

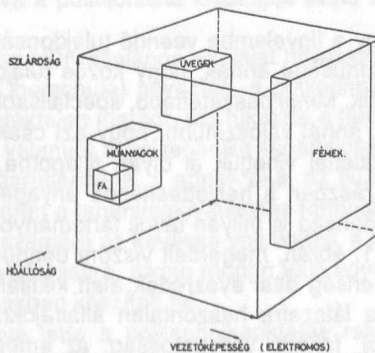
Nemcsak a dinamikai hatások változtathatnak a tulajdonsági soron, a megmunkáló anyag alakja is meghatározóvá lehet a megmunkálásnál, változtathatja a rangsort.

Tulajdonságcella – követelménycella

A gyakorlati életben legtöbbször az anyagoknak nem egyetlen előnyös tulajdonságát használjuk ki. Az üvegnek például nemcsak átlátszónak, hanem szilárdnak, adott esetben megmunkálhatónak – vághatónak, csiszolhatónak stb. – kell lennie. Több szempont egyesül tehát mind az anyagok kiválasztásánál, mind az anyagok helyettesítésénél. Hogy egy anyagot többféle szempont alapján is gyorsan és áttekinthetően értékelhessünk, vezessünk be egy új fogalmat, a tulajdonságok "paraméterterének" fogalmát, amely lényegét tekintve megegyezik a fizikában a pontrendszer mechanikájában, vagy az algebraiban az n dimenziós paramétertér, vagy a biológiai niche = fülke fogalmával. Alapirányait, alapidimenzióit az egymástól független anyagi tulajdonságok jelentik, feszítik ki. Dimenziója mindig a figyelembe vett, egymástól független tulajdonságok számával egyező.

A mérhető tulajdonságok alapirányait szimbolizáló egyenesek (fizikai) dimenzióval is jellemezhető számegegyenesek. A tulajdonságok paramétertere tehát e tulajdonság-alapirányok alaphalmazainak Descartes-szorzata. Az n db ilyen alapirány által kifeszített tulajdonságtér tehát








$$T^n = F_1 \times T_2 \times \dots \times T^n.$$



Bármely anyagot e tulajdonságtérben egy, a homogenitástól és a tulajdonságok mérési pontosságától függő tulajdonságcella jellemez. A tulajdonságcella ezért n dimen-

ziós "téglatest", melynek élhosszúságát a jelzett bizonytalansági paraméterek által meghatározott pontatlansági és tűrési határ adja meg (11. ábra).

Az anyagra jellemző tulajdonságcellához hasonlóan definiálhatjuk az anyaggal szemben támasztott igény követelménycelláját. De az igényt olyan "vektorral" is megadhatjuk, amely a követelménycella középpontjába mutat. Adott anyaggal akkor elégíthető ki egy követelmény (a megkívánt tulajdonságok egy adott kombinációja), ha az anyag tulajdonságcellája a követelménycellát tartalmazza. A helyettesíthetőségnek is hasonlóan szemléletes megfogalmazását adhatjuk a tulajdonságtér segítségével. Két vagy több anyag adott funkcióban akkor helyettesítheti egymást, ha a funkcióban megkívánt m dimenziós paramétercellát, követelménycellát a helyettesítésért "versengő" anyagok m -dimenziós tulajdonságcellái tartalmazzák (12. ábra).

Al		AZ ALUMINIUMOT IS KISZORITJA						
		SZILÁRSÁG ÖTVOZOTTENI	ELEKTROMOS VEZETŐ- KÉPESSÉG	KIS SŰRŰSÉG (KÖNNYŰSÉGI)	KÉMIAI STABILITÁS	KÖNNYŰ MEGMUNKÁL- HATÓSÁG	JÓ FÉNY- VISSZAVERŐ KÉPESSÉG	GYAKORISÁG A TERMÉSZETBEN
AZ ALUMINIUM SZORITJA KI	SZILÁRSÁG ÖTVOZOTTENI			Mg REPULÓGÉP SZERK. ANY.	Ti REPULÓGÉP SZERK. ANY.			
	ELEKTROMOS VEZETŐ- KÉPESSÉG	Cu TÁVVE- ZETEK						
	KIS SŰRŰSÉG (KÖNNYŰSÉGI)	Fe(+C) REPULÓGÉP SZERK. ANY.	Cu TÁVVE- ZETEK					Mg
	KÉMIAI STABILITÁS	Sn EDÉNYEK		Zn				
	KÖNNYŰ MEGMUNKÁL- HATÓSÁG	Fe,Cu ALKATRÉSZEK EDÉNYEK		Sn FÓLIA TUBUS	Fe,Cu Sn EDÉ- NYEK			
	JÓ FÉNY- VISSZAVERŐ KÉPESSÉG				Ag TÁVCSÓ TUKOR			
	GYAKORISÁG A TERMÉSZET- BEN	Cu	Cu	Fe	Sn,Zn	Cu,Fe	Ag	

Természetes dolog, hogy a figyelembe veendő tulajdonságok számának növelésével egyre kisebb a valószínűsége annak, hogy közös tulajdonságcella-tartománnyal rendelkező anyagot találunk. Minél összetettebb, speciálisabb feladatkörre kell helyettesítő anyagot keresnünk, annál valószínűbb, hogy azt csak számos anyagátalakító, tulajdonságmódosító művelettel vihetjük át olyan állapotba, hogy tulajdonságcellája fedje a követelménycella-részben a helyettesítendő anyagét. Talán lehangoló, hogy már három lényeges tulajdonság is milyen távoli tartományokra húzza szét a hétköznapi anyagok körét a 11. ábrán, megerősít viszont bennünket abban a meggyőződésünkben, hogy az emberiség által évezredek alatt kikísérletezett anyagokra szükség van, csakúgy, mint a látszatra haszontalan állatfajokra. Ezekben a természet spontán "fejlesztőkédvéből" fakadó változatosság, az emberi fejlesztő tevékenység pedig a sajátos anyagkombinációkban mutatkozik meg. És ne feledjük, a környezet-höz való aktív alkalmazkodás alapja az állatfajknál és az embernél is ugyanaz: a rendelkezésre álló készletek gazdagsága, a variánsok nagy száma.