

21. SYNERGIZM W TECHNICE

Ciel wykładu



21. 1. Pojęcie synergizmu

Od zarania swego istnienia człowiek stykał się z takim zjawiskiem, że za pomocą jakiegoś narzędzia można wykonać czegoś więcej lub mniejszym wysiłkiem. Zjawisko to jest synergizmem, czyli efektem synergii.

W ostatnich latach pojęcia te robią zawrotną karierę (także w technice). Na dowód tego można podać książkę prof. Tadeusza Burakowskiego („Rozważania o synergizmie w inżynierii powierzchni”, Wyd. Pol. Radomskiej 2004), która stanowi podstawę tego wykładu.

Pojęcie **synergii** lub synergizmu wywodzi się z greckiego syn = współ- i erg (od ergon = praca, działanie) i oznacza: „takie zestawienie dwóch lub więcej elementów, by ich oddziaływanie dawało skutek większy niż suma składników wywołana przez każdy z elementów oddzielnie.

Ogólnie synergii definiuje się więc jako „**dodatkową korzyść przypadającą pewnej liczbie systemów czy układów, które grupują się, by stworzyć większy system**”, bowiem:

Całość – to coś więcej niż suma jej części składowych.

W przyrodzie nie ma zjawisk niezależnych. Wszystkie są efektem oddziaływania na siebie różnych elementów, które nazywa się czynnikami. Efekt oddziaływania tych czynników nazywa się właściwością układu. Dowolny układ synergiczny może być utworzony przez minimum dwa czynniki (układ dwuczynnikowy).

Efekt ich sumarycznej reakcji może być trojaki:

- wzmacniający (synergiczny),
- bez zmian (neutralny),
- ujemny (antagonistyczny).



Całość dobrze pomyślana może dawać dodatkowy efekt (*np. w nowoczesnych samochodach karoseria służy nie tylko do pomieszczenia ludzi, ale stanowi również konstrukcję samonośną, pracującą na skręcanie i zginanie, która ponadto spełnia funkcje aerodynamiczne*). W praktyce może wystąpić także negatywna synergia, jaka pojawia się wówczas, gdy całość jest źle pomyślana lub nieefektywnie zorganizowana (*np. lek utrwalony piwkim !*). Zatem:

Synergizm jest istotą układów współdziałania.

Synergia – jako cecha systemów, jest formalnym przedmiotem badań cybernetyki.

Synergetyka – dyscyplina nauki, zajmująca się badaniem systemów utworzonych z elementów różnej natury.

Synergizm występuje wokół nas wszędzie, jest prawem natury, które wynika z dążności materii do samoorganizacji. Prawo to powinniśmy nie tylko postrzegać, ale i świadomie wykorzystywać także w działaniach technicznych. W technice synergizm pojmowany jest jako efekt silnego oddziaływania; występuje we wszystkich etapach wytwarzania i eksploatacji wyrobów – począwszy od pozyskiwania surowców materiałowych, a na gotowych wyrobach w postaci maszyn, pojazdów i urządzeń skończywszy. Wobec powyższego, w technice można wyróżnić następujące **rodzaje synergizmu**:

- parametryczny,
- materiałowy
- technologiczny,
- konstrukcyjny,
- eksploatacyjny

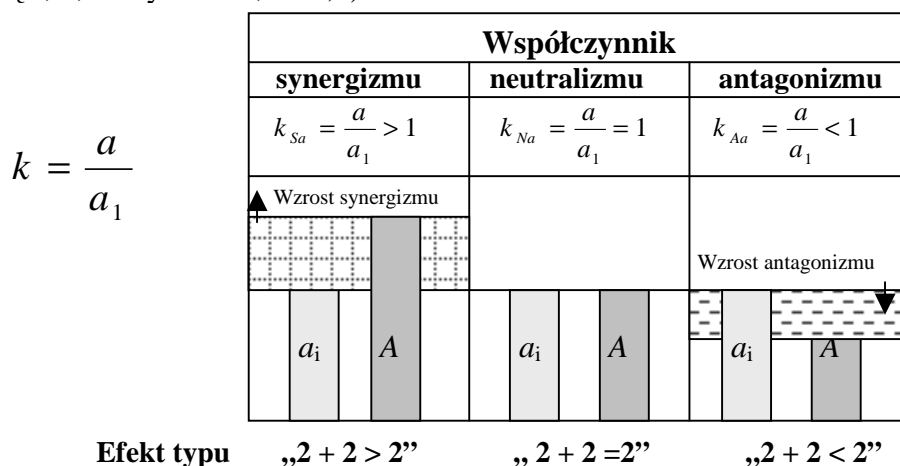
Te rodzaje synergizmu zostaną więc omówione w dalszej części wykładu

21. 2. Rodzaje i pomiar synergizmu

Ogólnie synergizm jest pojmowany jako wzajemne współdziałanie dwóch lub więcej czynników, w wyniku którego następuje wzmocnienie – bez precyzowania jakie ono jest.

Do ilościowego określania synergizmu układu, używa się **współczynnika oddziaływania** k_o , jako krotności zmiany właściwości A w wyniku działania dwóch lub więcej czynników a , odniesioną do właściwości a_1 wywołanej działaniem jednego czynnika.

Dla uproszczenia rozważań przyjmuje się, że określona właściwość układu $A, B, C..$ jest tożsama z jej wartością $a, b,..$ czyli: $A \sim a, B \sim b,..$.

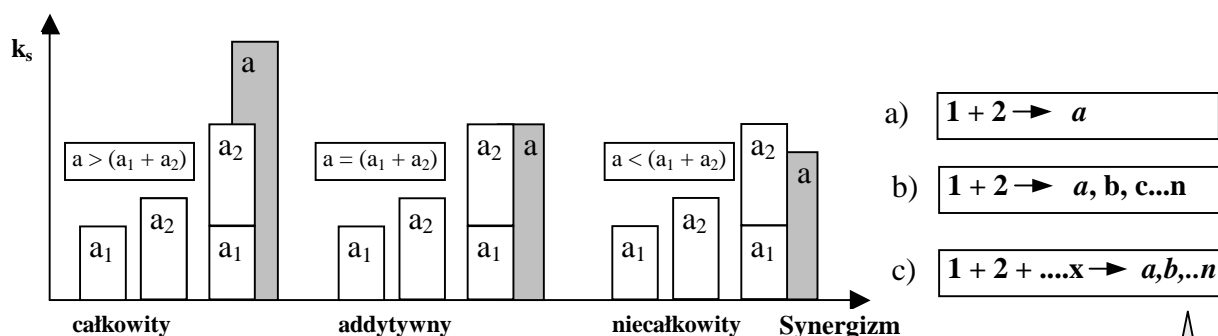


Synergizm zatem to wzajemne oddziaływanie dwóch lub więcej czynników (elementów, zespołów, technologii, itp.):

- skuteczniejsze niż prosta suma ich oddzielnych działań,
- równe sumie ich oddzielnych działań,
- mniej skuteczne, ale zawsze większe niż oddzielne działanie pojedynczego czynnika.

We wszystkich przypadkach mogą być uzyskiwane właściwości nowe, niewystępujące przy działaniu tylko jednego czynnika. Stąd wyróżnia się (np. dla określonej właściwości a):

- synergizm całkowity (pełny), tzw. „efekt 2+2 = 5” – występuje, gdy $a > (a_1 + a_2)$,
- synergizm addytywny (dodający), tzw. „efekt 2+2 = 4” – występuje, gdy $a = (a_1 + a_2)$,
- synergizm niecałkowity (niepełny), tzw. „efekt 2+2 = 3” – występuje, gdy $a < (a_1 + a_2)$.



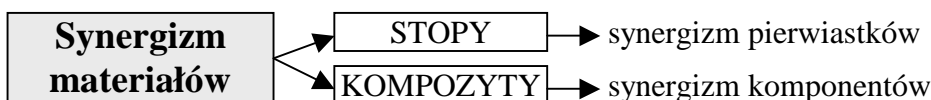
Graficzne obrazy synergizmu w technice

Biorąc pod uwagę ilość oddziałujących czynników, synergizm może być:

- a) **jednowłaściwościowy** – oddziaływanie na dwóch czynników na jedną właściwość,
 - b) **kilkuwłaściwościowy** – oddziaływanie dwóch czynników na kilka właściwości,
 - c) **wielowłaściwościowy** – oddziaływanie wielu czynników na wiele właściwości.
- (każdy z nich może być: całkowity, addytywny lub niecałkowity).

21. 3. Synergizm materiałów

Synergizm materiałowy – to efekt jednoczesnego oddziaływania pierwiastków (bądź składników) tworzących materiał w stanie stałym lub ciekłym.



Stop to tworzywo składające się z metalu podstawowego, stanowiącego osnowę, do którego wprowadzono przynajmniej jeden pierwiastek stopowy (metal lub niemetal) w celu zmiany właściwości tegoż metalu w żądanym kierunku.

Na 111 odkrytych pierwiastków aż 76 – to metale, z których w technice zastosowanie znajduje głównie około 20 pierwiastków. Stopy najczęściej wytwarzane są metalurgicznie przez stapianie składników – stąd ich nazwa, ale mogą być też wytwarzane przetopieniowo (laserowo, elektronowo, plazmowo, dyfuzyjnie, mechanicznie – metalurgia proszków lub elektrolitycznie.

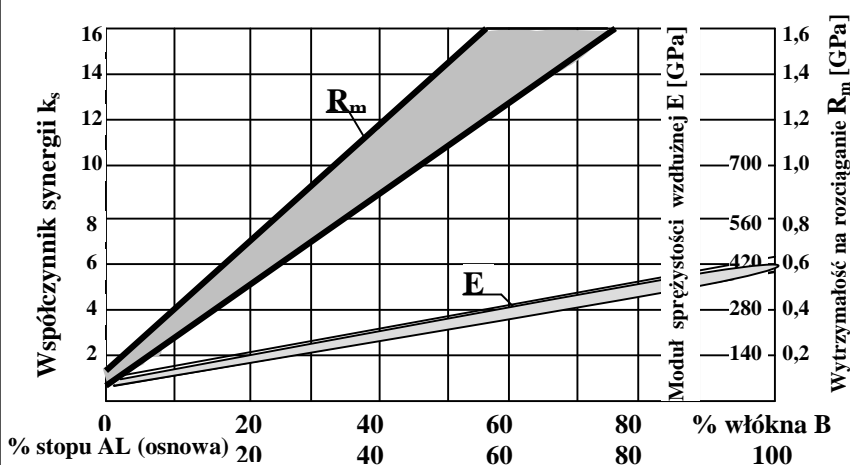
Właściwości	Pierwiastek stopowy											
	Si	Mn	Cr	Ni	Al	W	V	Co	Mo	Cu	S	P
mechaniczne	Twardość	↑	↑	↑↑	↑	-	↑	↑	↑	↑	-	↑
	Wytrzymałość	↑	↑	↑↑	↑	-	↑	↑	↑	↑	-	↑
	Gr. plastyczności	↑↑	↑	↑↑	↑	-	↑	↑	↑	↑	-	↑
	Wydłużenie	↓	-	↓	-	-	↓	-	↓	↓	-	↓
	Przewężenie	-	-	↓	-	↓	-	-	↓	↓	-	↓
	Sprężystość	↑↑	↑	↑	-	↓	-	↑	-	-	-	-
	Żarowytrzyma.	↑	-	↑	↑		↑↑	↑	↑↑	↑↑	↑	-

Właściwości stopów metali są głównie funkcją ich składu pierwiastkowego, ale również zależą od technologii ich wytwarzania (kolejności zabiegów, parametrów).

W tych właściwościach (tablica) przejawia się synergizm składników stopowych, który zaznaczono jako: ↑↑ bardzo mocny ↑ mocny.

Kompozyt to kompozycja co najmniej dwóch materiałów (komponentów), które mogą występować oddzielnie, ale w kompozycie tworzą nowy materiał o lepszych właściwościach.

Kompozyty są materiałami tworzonymi w celu wykorzystania synergizmu składników. Składniki te zapewniają określone właściwości eksploatacyjne wyrobów, np. dużą sprężystość i mały współczynnik przewodzenia ciepła, dużą żaroodporność i małą przewodność cieplną. Kompozyty mogą być: warstwowe (umacniane włóknami), spiekane lub komórkowe (konstrukcje ulowe).



Na rysunku przedstawiono zależność współczynnika synergizmu wielkości R_m i E kompozytu włóknistego od zawartości włókien boru w osnowie ze stopów aluminium Al.

Uzyskana zależność jest addytywna, czyli wzrost ilości składnika prowadzi do wzrostu synergizmu materiałowego.

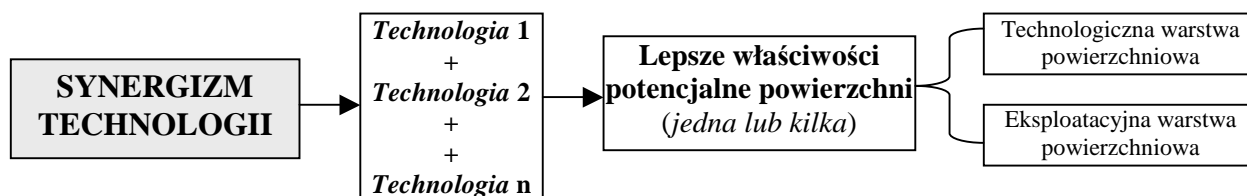
Zwykle każdy kompozyt składa się z osnowy (bazy) i umocnienia (zbrojenia). Jednym i drugim mogą być dowolne: metal, polimer, ceramika (przykłady: sklejka, beton, cermetale):

- **umocnienie**, np. włókna celulozowe, grafitowe, szklane, organiczne typu Kevlar, metalowe,
- **osnowy** najczęściej wykonywane są z materiałów miękkich (w porównaniu z umocnieniem), organicznych w postaci żywic, ceramiki (szkło, porcelana, krzem), metalu (Al., Ti, Cu, Ni, Co) i in.

21. 4. Synergizm technologii

Właściwości niemodyfikowanych warstw wierzchnich mogą okazać się niewystarczające dla użytkownika i dlatego poddawane są modyfikacjom za pomocą różnych technologii

Zestaw i kolejność technologii (operacji, zabiegów i czynności) to proces technologiczny wytwarzania przedmiotu, w trakcie realizacji którego następuje zmiana kształtu i właściwości objętościowych przedmiotu. Dany układ technologii opisuje synergizm technologii wytwarzania.



Pożądaný stan eksploatacyjny powierzchni (przy danym narażeniu zewnętrznym) wymaga właściwego doboru liczby i kolejności technologii (1,2,3. ...n) dla uzyskania efektu synergicznego.

Synergizm technologii jest efektem oddziaływania kolejnych technologii procesu wytwarzania na uzyskane w ich wyniku właściwości przedmiotu.

Wszystkie **metody wytwarzania technologicznego** warstw powierzchniowych, w zależności od przewagi zjawisk lub rodzaju oddziaływania fizycznego, chemicznego lub fizykochemicznego na rdzeń lub podłoże, dzieli się na 6 grup:

1. **Mechaniczne** – wykorzystuje się nacisk narzędzia (skrawanie) lub nacisk i energię kinetyczną (kulowanie) w celu umocnienia na zimno warstwy wierzchniej metalu.
2. **Cieplne** – wykorzystuje się zjawiska związane z oddziaływaniem ciepła; grzanie laserowe, elektronowe, plazmowe, łukowe.
3. **Cieplnochemiczne** – wykorzystuje się połączone oddziaływanie ciepła i ośrodka chemicznego aktywnego względem obrabianego tworzywa, np.: azotowanie, cynkowanie.
4. **Elektrochemiczne** – wykorzystuje się redukcję elektrochemiczną (powłoki elektrolityczne).
5. **Chemiczne** – wykorzystuje się reakcję chemiczną (powłoki malarskie).
6. **Fizyczne** – wykorzystuje się różne zjawiska fizyczne przebiegające pod ciśnieniem atmosferycznym lub z obniżonym z udziałem jonów lub pierwiastków metali i niemmetali.

Nie można wykorzystywać tylko jednej metody do wytworzenia przedmiotu o żądanych właściwościach. Zawsze wytworzenie właściwego przedmiotu wymaga co najmniej kilku technologii, przy czym kolejność realizacji procesu technologicznego nie jest obojętna – tablica.

Przykład współczynników synergizmu przez zastosowanie różnych technologii obróbki

Rodzaj stali	Sposób modyfikacji warstwy wierzchniej	Twardość powierzchniowa [HV]	Współczynnik synergizmu twardości [k_H]
30HGSA	Normalizowanie	236	1
	Normalizowanie + kulowanie	394	1,67
	Normalizowanie + hartowanie indukcyjne	620	2,63
	Normalizowanie + hartowanie indukcyjne + kulowanie	723	3,1
	Ulepszanie cieplne	342	1
	Ulepszanie cieplne + kulowanie	442	1,29
	Ulepszanie cieplne + hartowanie indukcyjne + kulowanie	810	2,37

Synergizm technologii uwidacznia się tym wyraźniej, im większy jest stopień dopracowania i skomplikowania konstrukcji oraz technologii wytwarzania i eksploatacji a ściślej – im wyższy jest poziom techniki.

21. 5. Synergizm eksploatacji

Każde urządzenie jest budowane po to, by je eksploatować.

Całokształt działań i czynności związanych z użytkowaniem skutecznym, racjonalnym, niezawodnym i energooszczędnym tworzy system eksploatacji (*exploitation fr. użytkowanie*). W eksploatacji skupiają się synergiczne oddziaływania materiału, konstrukcji, technologii tribologicznie współpracujących ze sobą elementów (par trybologicznych) oraz występujących oddziaływań środowiska (obciążenia, korozja).

$$\boxed{\text{SYNERGIZM EKSPLOATACJI}} = \boxed{\text{Synergizm materiału}} + \boxed{\text{Synergizm konstrukcji}} + \boxed{\text{Synergizm technologii}}$$

Najważniejszymi narażeniami eksploatacyjnymi są: korozja, tarcie i zmęczenie Właściwości tribologiczne obejmują odporność na zużycie i współczynnik tarcia. Odporność na zużycie zależy w głównej mierze od rodzaju obróbki trących się powierzchni, natomiast współczynnik tarcia związany jest z właściwościami smarnymi warstwy wierzchniej.

Synergizm związany z odpornością na zużycie powierzchni trących

W tabeli obok zestawiono, przykładowo, współczynniki synergizmu wzrostu wytrzymałości zmęczeniowej dla różnych operacji obróbkowych.

Operacja obróbkowa		Współczynnik synergizmu k_{zm}
Obróbka mechaniczna	krążkowanie	1,1 – 1,4
	kulowanie	1,1 – 1,3
Obróbka cieplno - chemiczna	nawęglanie i hartowanie	1,1 – 2,2
	azotowanie	1,1 – 1,25
	węgloazotowanie	1,3
	cyjanowanie	1,8
Obr. cieplna	hartowanie indukcyjne	1,2 – 1,6
Obróbka galwaniczna	chromowanie	0,66 – 0,9 (-)
	niklowanie	1 – 0,66 (-)

Synergizm związany ze współczynnikiem tarcia w węzłach tribologicznych

W węzłach tribologicznych dąży się do uzyskania możliwie małego współczynnika tarcia – w praktyce oznacza to zastępowanie tarcia suchego (dwóch niesmarowanych powierzchni) przez tarcie płynne (dwóch powierzchni rozdzielonych warstwą środka smarowego). Współczynnik tarcia zmniejsza się przez takie działanie przeciętnie około 100 krotnie. Jego konkretna wartość zależy to od zastosowanych środków. Środki smarowe, w zależności skupienia, dzielą się na:

- **płynne gazowe** – to głównie powietrze, dwutlenek węgla, azot,
- **płynne ciekłe** – to oleje (mineralne i syntetyczne), woda, emulsje,
- **plastyczne** – to zagęszczone oleje do 95 % oleju bazowego + sole metali: Ca, Na, K, Li,
- **stałe** – to głównie grafit, dwusiarczki, wodorotlenki, halogenki, azotki, siarczany.

Duże zmiany w wartościach współczynnika tarcia występuje głównie w przypadku mieszania różnych składników środków smarnych i dotyczy zwłaszcza trzech ostatnich grup środków smarowych.

W tabeli obok pokazano, przykładowo, współczynniki tarcia ruchowego stali na powietrzu przy różnych środkach smarowych.

Współczynnik tarcia μ stali ze μ środkiem	Lekki olej maszynowy	0,16
	Olej przekładniowy	0,12
	Olej silnikowy	0,20
	Olej z grafitem	0,13
	Kwas oleinowy	0,08
	Alkohol	0,40
	Gliceryna	0,20

Specyficznym układem eksploatacyjnym są konstrukcje z wbudowanym środkiem smarowym, np. bezobsługowe łożyska samosmarowne, gdzie w matrycę poliamidową został wprowadzony grafit lub dwusiarczek molibdenu – występuje tu synergizm materiału, konstrukcji oraz technologii.