

Cement to spoiwo hydrauliczne, tj. drobno zmielony materiał nieorganiczny, który po zmieszaniu z wodą daje zaczyn, wiążący i twardniejący w wyniku reakcji i procesów hydratacji, po stwardnieniu pozostaje wytrzymały i trwały także pod wodą. Cement produkowany jest przez wspólny przemiał klinkieru portlandzkiego, regulatora czasu wiązania (siarczanu wapnia) oraz, w zależności od rodzaju cementu, ewentualnych składników nieklinkierowych takich jak granulowany żużel wielkopiecowy (S), popioły lotne (V lub W), kamień wapienny (LL). Klinkier portlandzki to półprodukt wytwarzany poprzez wypalanie surowców takich jak wapień, margiel, glina w piecu obrotowym, w temperaturze 1450°C. W zależności od założonych wymagań dla cementu, może być on produkowany w oparciu o normy o statusie europejskim (PN-EN) i/lub krajowym (PN). Wykaz aktualnych norm przedmiotowych dotyczących cementu:

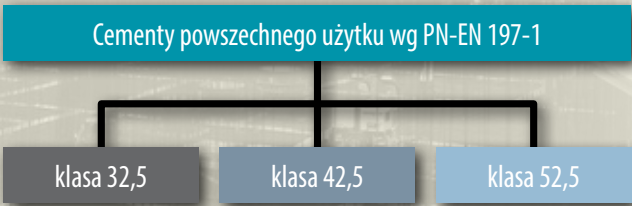
- PN-EN 197-1:2012 „Cement – Część 1: Skład, wymagania i kryteria zgodności dotyczące cementów powszechnego użytku”
- PN-B-19707:2013 „Cement – Cement specjalny – skład, wymagania i kryteria zgodności”
- PN-EN 14216:2005 „Cement – Skład, wymagania i kryteria zgodności dotyczące cementów specjalnych o bardzo niskim cieple hydratacji”

Zgodnie z normą PN-EN 197-1 wyróżnia się pięć głównych rodzajów cementów powszechnego użytku – tabela 1. Ze względu na wytrzymałość na ściskanie po 28 dniach wyróżnia się 3 klasy wytrzymałości cementu - rys.1.

Tabela 1. Cementy powszechnego użytku wg PN-EN 197-1:2012

Rodzaj cementu	Nazwa normowa
CEM I	cement portlandzki
CEM II	cement portlandzki wieloskładnikowy
CEM III	cement hutniczy
CEM IV	cement pucolanowy
CEM V	cement wieloskładnikowy

Rys. 1. Klasy wytrzymałości cementów powszechnego użytku wg PN-EN 197-1:2012



Z uwagi na wytrzymałość wczesną (po 2 lub 7 dniach), klasa cementu dodatkowo oznaczona jest symbolem literowym:

- L – cement o niskiej wytrzymałości wczesnej (dotyczy tylko cementu hutniczego CEM III)
- N – cement o normalnej wytrzymałości wczesnej
- R – cement o wysokiej wytrzymałości wczesnej

Wymagania normy PN-EN 197-1:2012 względem właściwości fizycznych i mechanicznych oraz składu chemicznego przedstawiono odpowiednio w tabeli 2 i 3.

Tabela 2. Wymagania fizyczne i mechaniczne dla cementów wg PN-EN 197-1:2012

Klasa wytrzymałości		Wytrzymałość na ściskanie [MPa]				Początek czasu wiązania [min]	Stałość objętości [mm]
		Wytrzymałość wczesna		Wytrzymałość normowa			
		2 dni	7 dni	28 dni			
32,5	L	-	≥ 12,0	≥ 32,5	≤ 52,5	≥ 75	≤ 10
	N	-	≥ 16,0				
	R	≥ 10,0	-				
42,5	L	-	≥ 16,0	≥ 42,5	≤ 62,5	≥ 60	≤ 10
	N	≥ 10,0	-				
	R	≥ 20,0	-				
52,5	L	≥ 10,0	-	≥ 52,5	-	≥ 45	≤ 10
	N	≥ 20,0	-				
	R	≥ 30,0	-				

Tabela 3. Wymagania chemiczne dla cementów wg PN-EN 197-1:2012

Właściwość	Rodzaj cementu	Klasa wytrzymałości	Wymagania [% m.c.]
Strata prażenia	CEM I CEM III	wszystkie	≤ 5,0
Pozostałość nierozpuszczalna	CEM I CEM III	wszystkie	≤ 5,0
Zawartość siarczanów (jako SO ₃)	CEM I CEM II ^{a)} CEM IV CEM V	32,5 N 32,5 R 42,5 N	≤ 3,5
		42,5 R 52,5 N 52,5 R	≤ 4,0
		wszystkie	
	CEM III ^{b)}	wszystkie	
Zawartość chlorków	wszystkie	wszystkie ^{c)}	≤ 0,10
Pucolanowość	CEM IV	wszystkie	wynik pozytywny

a) Cement rodzaju CEM II/B-T i CEM II/B-M z udziałem łupka palonego może zawierać do 4,5% siarczanów (jako SO₃) dla wszystkich klas wytrzymałości

b) Cement rodzaju CEM III/C może zawierać do 4,5% siarczanów

c) Cement rodzaju CEM II może zawierać więcej niż 0,10% chlorków, lecz wówczas maksymalną zawartość chlorków należy podać na opakowaniu i/lub dokumencie dostawy

Normy przedmiotowe w zakresie cementu wyszczególniają pewne właściwości specjalne cementów powszechnego użytku pokazane w tabeli 4.

Tabela 4. Właściwości specjalne cementów powszechnego użytku

Cecha specjalna	Oznaczenie	Norma
Niskie ciepło hydratacji	LH	PN-EN 197-1:2012
Odporność na siarczany	SR	PN-EN 197-1:2012
	HSR	PN-B-19707:2013
Niskoalkaliczność	NA	PN-B-19707:2013

Ponadto norma PN-EN 14216 wyróżnia cementy specjalne o bardzo niskim cieple hydratacji VLH. Cementami o bardzo niskim cieple hydratacji (VLH) mogą :

- cement hutniczy VLH III (tylko VLH III/B i VLH III/C),
- cement pucolanowy VLH IV,
- cement wieloskładnikowy VLH V.

Cementy specjalne VLH produkowane mogą być tylko w klasie wytrzymałości 22,5, wymagania podano w tabeli 5.

Tabela 5. Wymagania mechaniczne i fizyczne dla cementów VLH wg PN-EN 14216:2005

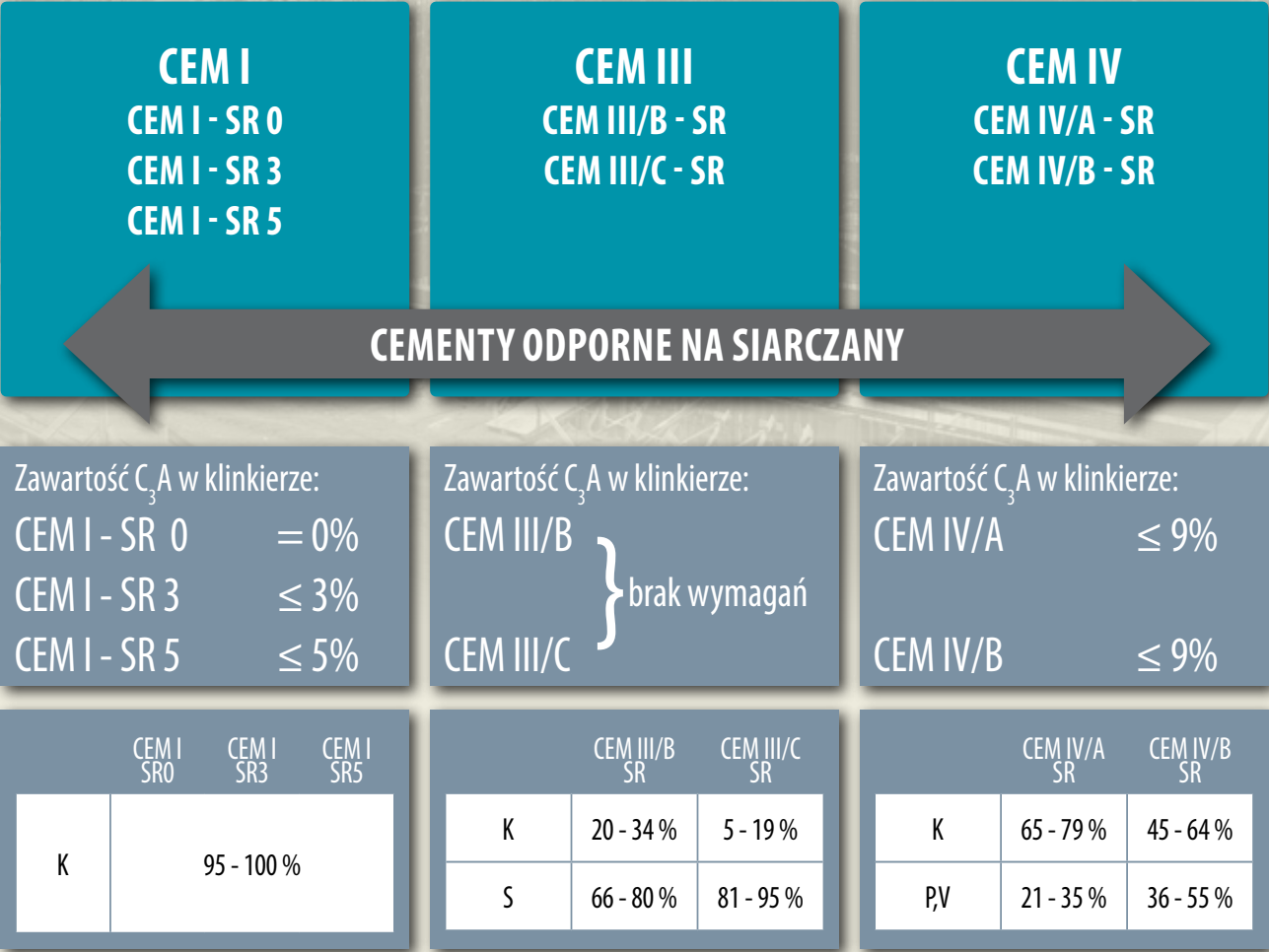
Klasa wytrzymałości	Wytrzymałość na ściskanie [MPa]		Początek czasu wiązania [min]	Stąłość objętości [mm]
22,5	≥ 22,5	≤ 42,5	≥ 75	≤ 10

Cementy o niskim cieple hydratacji LH oraz cementy o bardzo niskim cieple hydratacji VLH zalecane są do wykonywania konstrukcji masowych, narażonych na zarysowanie w wyniku powstających naprężeń termicznych. Reakcja cementu z wodą ma charakter egzotermiczny, a wydzielone ciepło może doprowadzić do powstania dużych różnic temperatury pomiędzy powierzchnią betonu a jego wnętrzem, co może być powodem naprężeń termicznych. Jeśli naprężenia termiczne przekroczą wartość wytrzymałości betonu, powstają mikrorysy, które w istotny sposób obniżają trwałość betonu. Wymagania dla cementu o niskim i bardzo niskim cieple hydratacji przedstawiono w tabeli 6.

Tabela 6. Wymagania dla cementów o niskim LH i bardzo niskim cieple hydratacji VLH

Cement	Wymagania	Metody badań
Cementy o niskim cieple hydratacji LH wg PN-EN 197-1	Ciepło hydratacji po 41 godzinach 270 J/g	Metoda semiadiabatyczna wg PN-EN 196-9
	Ciepło hydratacji po 7 dniach ≤ 270 J/g	Metoda rozpuszczania wg PN-EN 196-8
Cementy o bardzo niskim cieple hydratacji VLH wg PN-EN 14216	Ciepło hydratacji po 41 godzinach ≤ 220 J/g	Metoda semiadiabatyczna wg PN-EN 196-9
	Ciepło hydratacji po 7 dniach ≤ 220 J/g	Metoda rozpuszczania wg PN-EN 196-8

Cementy odporne na siarczany SR, HSR zalecane są do wykonywania konstrukcji betonowych w warunkach agresji siarczanowej (klasy ekspozycji XA2 i XA3), a więc narażonych na działanie wód gruntowych lub wody morskiej, a także nawozów sztucznych, czy ścieków przemysłowych. Norma PN-EN 197-1 definiuje 7 rodzajów cementów powszechnego użytku odpornych na siarczany SR, kryterium klasyfikacji jest zawartość C_3A w klinkierze portlandzkim stosowanym do produkcji cementu – rys. 2. Wymagania dla cementów odpornych na siarczany SR przedstawiono w tabeli 7, a klasyfikację i wymagania dla cementów HSR w tabeli 8.



Rys. 2. Klasyfikacja cementów odpornych na siarczany SR wg PN-EN 197-1

Tabela 7. Wymagania chemiczne dla cementów odpornych na siarczany SR wg PN-EN 197-1:2012

Właściwość	Badanie wzorcowe	Rodzaj cementu	Klasa wytrzymałości	Wymagania ^{a)}
Zawartość siarczanów (jako SO ₃)	PN-EN 196-2:2013	CEM I-SR 0 CEM I-SR 3 CEM I-SR 5 ^{b)}	32,5 N 32,5 R 42,5 N	≤ 3,0%
		CEM IV/A-SR CEM IV/B-SR	42,5 R 52,5 N 52,5 R	≤ 3,5%
Zawartość glinianu trójwapniowego C ₃ A w klinkierze ^{c)}	PN-EN 196-2:2013 ^{d)}	CEM I-SR 0	wszystkie	= 0%
		CEM I-SR 3		≤ 3%
		CEM I-SR 5		≤ 5%
	– e)	CEM III/B-SR CEM III/C-SR		brak wymagań
		CEM IV/A-SR CEM IV/B-SR		≤ 9%
Pucolanowość	PN-EN 196-5:2011	CEM IV/A-SR CEM IV/B-SR	wszystkie	wynik pozytywny po 8 dniach
<p>a) Wymagania podano w procentach masy gotowego cementu.</p> <p>b) Dla szczególnych zastosowań cementy CEM I-SR 5 mogą być produkowane z wyższą zawartością siarczanów. W takich przypadkach wartość liczbową tego wyższego wymagania dotyczącego zawartości siarczanów należy zadeklarować w dokumencie dostawy.</p> <p>c) Metoda badania dotycząca oznaczania zawartości C₃A w klinkierze z analizy gotowego cementu jest w trakcie opracowywania w CEN/TC 51.</p> <p>d) W szczególnym przypadku cementów CEM I, dopuszcza się obliczenie zawartości C₃A w klinkierze z analizy chemicznej cementu. C₃A = 2,65 A – 1,69 F (A – %mas. Al₂O₃ w klinkierze, F – %mas. Fe₂O₃ w klinkierze, oznaczone wg PN-EN 196-2:2013).</p> <p>e) Do czasu zakończenia prac nad metodą badania, zawartości C₃A w klinkierze należy oznaczać na podstawie analizy klinkieru w ramach wykonywanej przez producenta zakładowej kontroli produkcji.</p>				

Tabela 8. Wymagania dotyczące cementów specjalnych odpornych na siarczany HSR według PN-B-19707:2013

Rodzaj cementu HSR	Wymagania		
	Udział składnika nieklinkierowego [%]	Odporność na siarczany	Klinkier
CEM II/A-V CEM II/A-S CEM II/A-M (S-V) CEM II/B-S	brak wymagań	Odporność na agresję siarczanową jako wartość ekspansji w roztworze Na ₂ SO ₄ po 52 tygodniach X _t ≤ 0,5 %	zawartość C ₃ A ≤ 5 %
CEM II/B-V	udział popiołu lotnego krzemionkowego V ≥ 25 %		brak wymagań
CEM II/B-M (S-V)	udział popiołu lotnego krzemionkowego V ≥ 20 %		brak wymagań
CEM III/A	udział granulowanego żużla wielkopieczowego S ≤ 49 %	Metoda badania - Załącznik A do normy PN-EN 19707:2013	C ₃ A ≤ 9 %
CEM III/A	udział granulowanego żużla wielkopieczowego S ≥ 50 %		brak wymagań
CEM V/A (S-V) CEM V/B (S-V)	PN-EN 197-1		brak wymagań

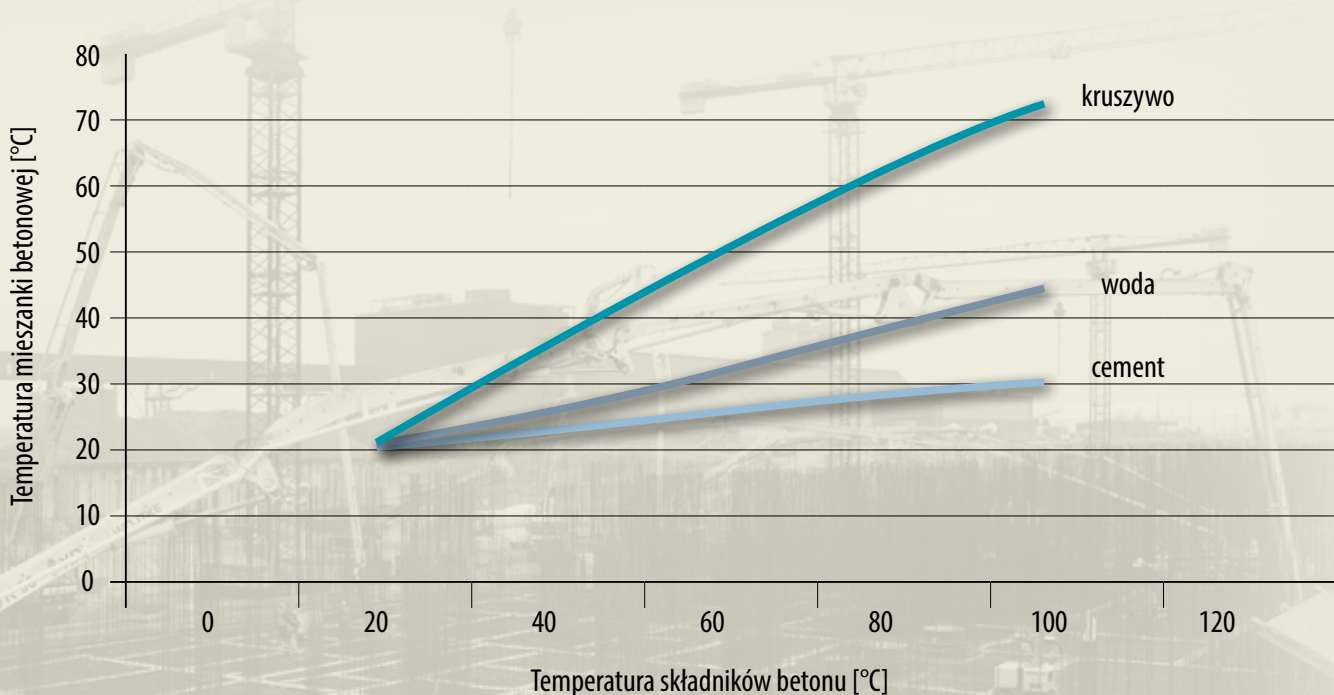
Cement o niskiej zawartości alkaliów NA należy stosować, gdy w składzie betonu może znajdować się kruszywo potencjalnie reaktywne alkalicznie. Reakcja alkaliów (jonów Na⁺ i K⁺) pochodzących z cementu oraz reaktywnej krzemionki występującej w kruszywie, powoduje powstanie żelu krzemianu sodowo-potasowego, który absorbuje wodę, zwiększając objętość i wywołując destrukcyjne

naprężenia. Przebieg reakcji alkalia-kruszywo ma powolny charakter, a negatywne skutki korozji alkalicznej mogą ujawnić się dopiero po kilku latach. Wymagania dla cementów NA zawarte są w normie krajowej PN-B-19707:2013 – tabela 9.

Tabela 9. Wymagania dla cementów niskoalkalicznych NA wg PN-B-19707:2013

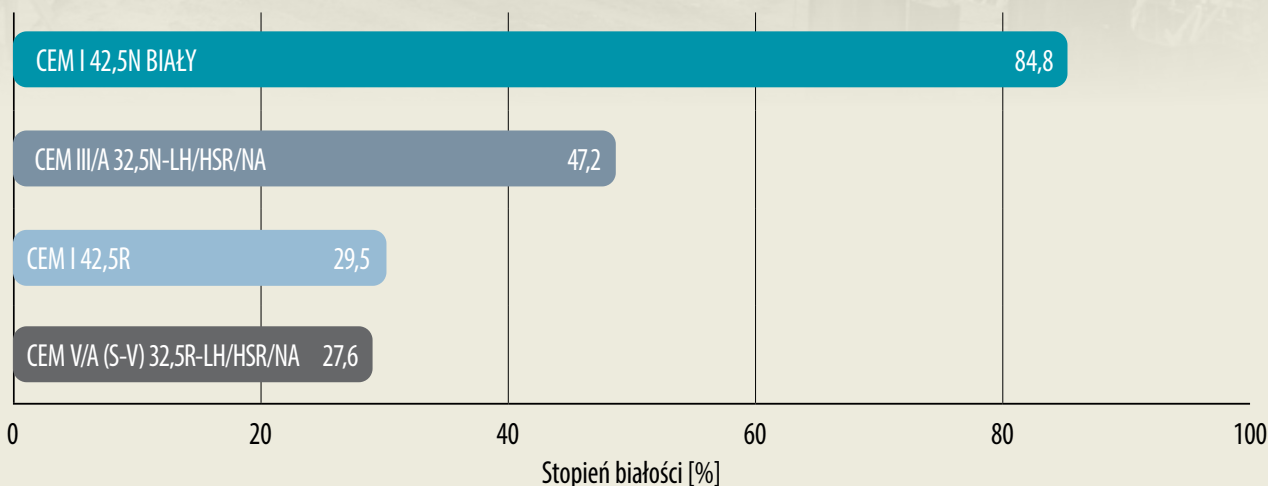
Rodzaj cementu NA	Wymagania	
	Udział składnika nieklinkierowego [%]	Całkowita zawartość alkaliów $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$ [%]
CEM I CEM II/A-LL	brak wymagań	$\leq 0,60 \%$
CEM II/A-V	udział popiołu lotnego krzemionkowego $V \geq 14 \%$	$\leq 1,20 \%$
CEM II/A-S	udział granulowanego żużla wielkopiecowego $S \geq 14 \%$	$\leq 0,70 \%$
CEM II/A-M (S-V)	udział popiołu lotnego krzemionkowego i udział granulowanego żużla wielkopiecowego $(S+V) \geq 14 \%$	$\leq 1,20 \%$
CEM II/B-V	udział popiołu lotnego krzemionkowego $V \geq 25 \%$	$\leq 1,50 \%$
CEM II/B-S	brak wymagań	$\leq 0,80 \%$
CEM II/B-M (S-V)	udział popiołu lotnego krzemionkowego $V \geq 20 \%$	$\leq 1,30 \%$
CEM III/A	udział granulowanego żużla wielkopiecowego $S \leq 49 \%$	$\leq 0,95 \%$
	udział granulowanego żużla wielkopiecowego $S \geq 50 \%$	$\leq 1,10 \%$
CEM III/B-C	brak wymagań	$\leq 2,00 \%$
CEM IV/A (V)	udział popiołu lotnego krzemionkowego $V \geq 25 \%$	$\leq 1,50 \%$
CEM IV/B (V)	brak wymagań	$\leq 2,00 \%$
CEM V/A (S-V)	udział popiołu lotnego krzemionkowego i granulowanego żużla wielkopiecowego $(S+V) \leq 49 \%$	$\leq 1,60 \%$
	udział popiołu lotnego krzemionkowego i granulowanego żużla wielkopiecowego $(S+V) \geq 50 \%$	$\leq 2,00 \%$
CEM V/B (S-V)	brak wymagań	$\leq 2,00 \%$

TEMPERATURA CEMENTU nie jest właściwością normową. W okresie wzmożonego pobytu rynkowego cement może mieć wyższą temperaturę, aczkolwiek w nieznacznym stopniu przekłada się to na temperaturę mieszanki betonowej – rys. 3.



Rys. 3. Wpływ temperatury składników betonu na temperaturę mieszanki betonowej

Również **BARWA CEMENTU** nie jest właściwością normową. Zależy głównie od rodzaju surowców użytych do jego produkcji (rys. 4). Cementy o dużej zawartości klinkieru portlandzkiego posiadają ciemnoszarą barwę. Wraz ze zwiększaniem udziału granulowanego żużla wielopieczowego w składzie cementu, jego barwa staje się jaśniejsza. Cementy z popiołem lotnym charakteryzują się barwą ciemną powodowaną resztkami niespalonego węgla.



Rys. 4. Stopień białości cementów powszechnego użytku