

PRAKTYCZNE REGUŁY NAPRAW KONSTRUKCJI Z BETONU

LECH CZARNECKI, e-mail: l.czarnecki@itb.pl
Instytut Techniki Budowlanej

Streszczenie: W artykule wykazano potrzebę, a nawet nieuchronność przeprowadzania napraw, podkreślono znaczenie napraw dla zapewnienia zrównoważonego rozwoju budownictwa. W dyscyplinie naukowej Budownictwo nauka i inżynieria wzajemnie się przenikają, a w efekcie w praktyce budowlanej stosuje się wiele reguł praktycznych. W swoich sformułowaniach mogą one wydawać się dość odległe od ujęcia naukowego, jednakże są rozważań naukowych konsekwencją. W tym kontekście norma PN-EN 1504 dotycząca napraw konstrukcji betonowych może być traktowana jako zbiór metod praktycznych. Podaje ona jednakże zalecenia w sposób nierzadko uwikłany, trudnorozumiały i tworzący nieprzyjemne wrażenie. Było to przesłanką do opracowania komentarza autorstwa L. Czarneckiego, P. Łukowskiego, A. Garbacza: Naprawa i ochrona konstrukcji z betonu. Komentarz do PN-EN 1504. PWN Warszawa, 2017. W artykule starano się przedstawić na szerokim tle relacji nauka – inżynieria, reguły praktyczne napraw konstrukcji z betonu. Reguły te przybrały postać hasłowych sformułowań uzupełnianych rysunkami jako komentarzem.

Słowa kluczowe: beton, konstrukcja, naprawa, ochrona, reguły praktyczne, trwałość, zrównoważony rozwój, nauka, inżynieria

1. Wprowadzenie

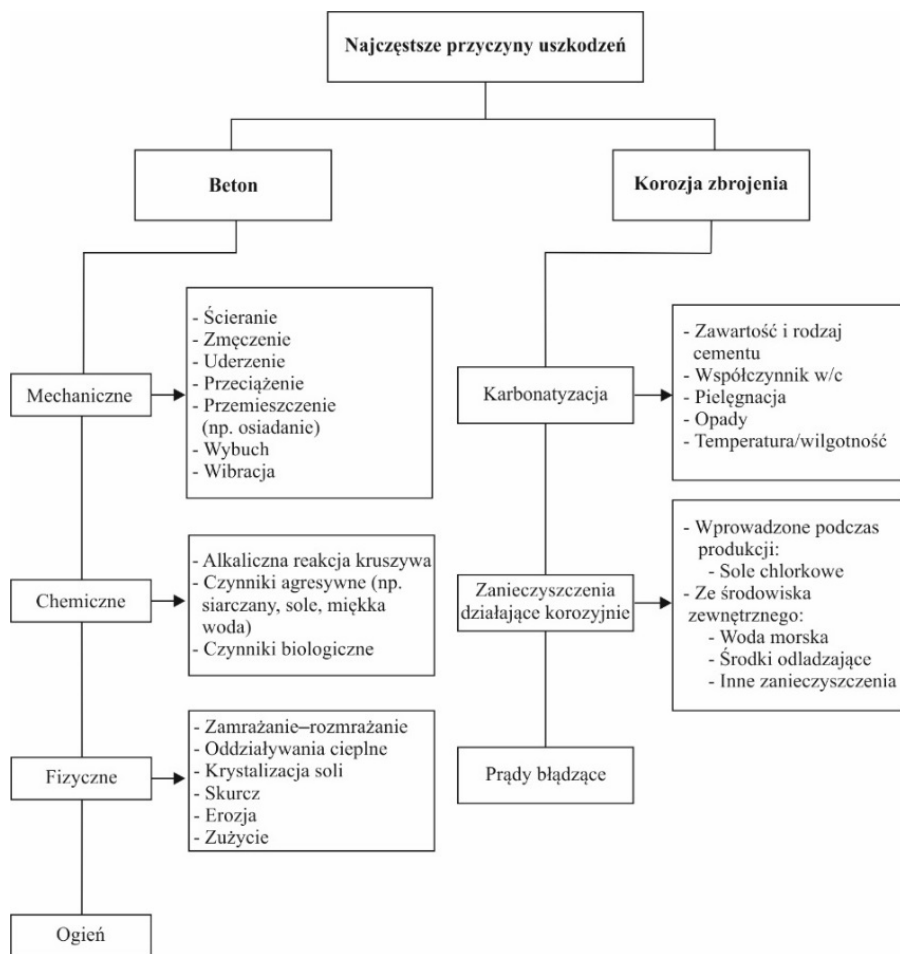
Procesowi budowania zwykle towarzyszy odświętny nastrój i pewnego rodzaju celebrowanie kamienie węgielne, uroczyste akty upamiętniające, wiechy budowlane (na Śląsku nazywane glajchą). Przeprowadzanie napraw, mimo że często trudniejsze, a z reguły bardziej odpowiedzialne niż wznoszenie, jest na ogół otoczone niejaką dyskrecją. Dyskrekcja naprawy występuje w podwójnym znaczeniu tego słowa: „nie ma się co chwalić” oraz „brak ciągłości i jej przywrócenie”^{*}. Jest to zapewne podyktowane zawodowym zażenowaniem jakie odczuwamy wobec powszechnego przeświadczenia o trwałości konstrukcji; a tu jednak trzeba naprawiać. To zażenowanie towarzyszy nam bez względu na to czy przyczyny naprawy wynikają z nagłych zdarzeń losowych, długotrwałych procesów dekonstrukcyjnych, czy też należy usuwać usterki projektowe lub wykonawcze (rys. 1). Jedynie wyburzenia – które są również formą naprawy – bywają (często z konieczności) prowadzone ostentacyjnie. W tym przypadku jednakże jest to także demonstracja, że będziemy budować nowe.

Naprawa to usuwanie wad, a wada to stan wymagający interwencji. Zamierzeniem tego artykułu jest ukazanie, że naprawy nieodłącznie towarzyszą wznoszeniu i utrzymaniu obiektów budowlanych. Jest rzeczą charakterystyczną, że podręczniki dotyczące trwałości konstrukcji – projektowaniu „na trwałość” – często kończą się rozdziałem: Jak naprawiać [1]. Naprawy jak i cała działalność budowlana odwołują się do naukowych podstaw, a w dyscyplinie naukowej Budownictwo, jak mało w której, przenika się wzajemnie nauka i inżynieria [2]. Wieloaspektowość i złożoność działań w budownictwie powoduje, że w tej dziedzinie,

^{*} Dyskretny-nieciągly (mat.)

większe niż w innych, ma uzasadnienie stosowanie reguł praktycznych [3]. Anglosasi nazywają je *Rules of thumb* – *Reguły kciuka*; po polsku powiedzielibyśmy „spod dużego palca”.

Normy, w tym te dotyczące napraw PN-EN 1504.1-10, to z definicji zbiory reguł praktycznych. Norma podaje te reguły w sposób sformalizowany, nierzadko uwikłany, bywa że trudnorozumiały i tworzący nieprzyjemne wrażenie. Zamierzeniem przyświecającym artykułowi jest wyekstrahowanie tych reguł i w miarę możliwości przedstawienie ich w uproszczonej, bezpiecznie użytecznej formie.



Rys. 1. Typowe przyczyny uszkodzeń konstrukcji betonowych (wg PN-EN 1504-9)

2. Naprawy jako konieczność cywilizacyjna

Wśród 20 monumentów cywilizacyjnych (tabl. 1, rys. 2), liczących sobie od kilkunastu tysięcy do kilkudziesięciu lat, tylko domostwo z kości mamuta w Międzyrzeczu na Ukrainie, piramidy egipskie w Gizie i kamienne Stonehenge w Anglii nie były dotychczas naprawiane. Naprawy stały się jednym z podstawowych sposobów utrzymania obiektów budowlanych zarówno historycznych jak i współczesnych. Oczywiście naprawa obiektów zabytkowych wymaga współpracy z konserwatorem i przestrzegania reguł konserwatorskich. Naprawy służą

jednakże nie tyle do ratowania zabytków, ale przede wszystkim do przywracania bądź zachowania użyteczności współcześnie istniejących obiektów. Rynek napraw budowlanych jest liczony na świecie w dziesiątkach miliardów dolarów rocznie i ma tendencję wzrostową [4]. Naprawy są koniecznością cywilizacyjną analogiczną do uwarunkowanej termodynamicznie nieuchronności niszczenia obiektów. Właściciel lub zarządca obiektu budowlanego jest zobowiązany użytkować obiekt zgodnie z jego przeznaczeniem i utrzymać go w należyтым stanie technicznym i estetycznym – takie jest wymaganie prawa budowlanego [5].

Tablica 1. Wybrane monumenty cywilizacyjne i ich wiek

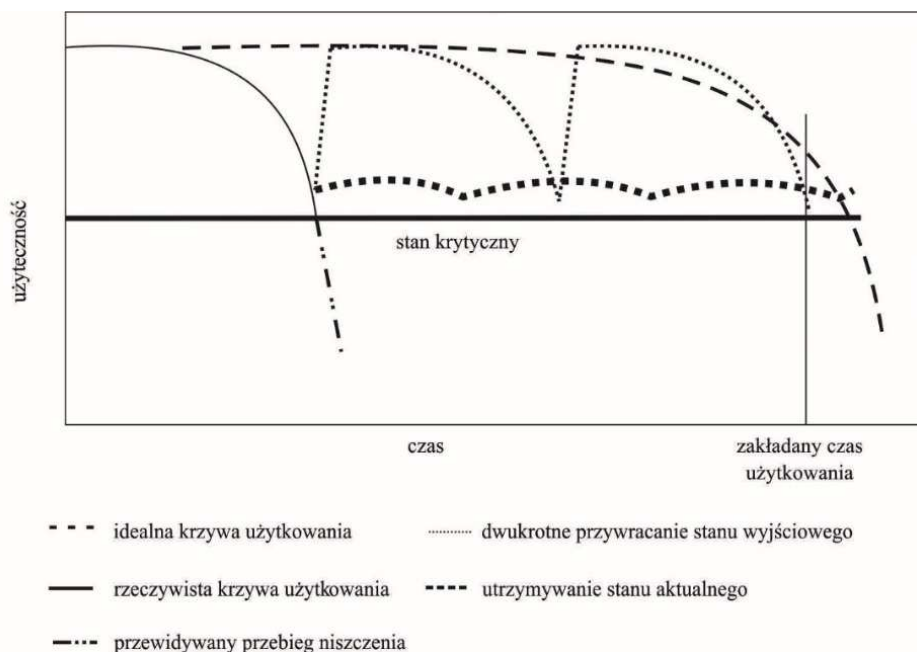
Monumenty Cywilizacji			
Nazwa	Położenie	Wiek w latach	Uwagi
 Domostwo z kości mamuta	Międzyrzecze, Ukraina	15000	
 Piramidy	Giza, Egipt	4670	Prawie nienaruszone
 Świątynia Amona	Luxor, Egipt	3540	Odbudowane ruiny
 Stonehenge	Równina Salisbury, Anglia	3500	Monument megalityczny
 Knossos	Kreta, Grecja	3500	Odbudowany zabytek minojski
 Nurag	Sardynia, Włochy	3250	Monument prehistoryczny
 Latarnia morska	Faros, Grecja	2700	Zniszczona przez trzęsienie ziemi w XIV w
 Efez	Selçuk/İzmir, Turcja	2540	Odbudowane ruiny
 Partenon	Ateny, Grecja	2420	Uszkodzona pociskami
 Panteon	Rzym, Włochy	2140	Świątynia służąca dziś jako kościół
 Koloseum	Rzym, Włochy	1910	Amfiteatr uszkodzony przez człowieka
 Hagia Sophia	Istambuł, Turcja	1453	Muzeum, wcześniej kościół i meczet
 Hōryū-ji	Nara, Japonia	1390	Świątynia
 Chichén Itzá	Jukatan, Meksyk	1000	Odbudowane ruiny
 opactwo Cystersów	Lubiąż, Polska	867	
 Dzwonnica św. Marka	Wenecja, Włochy	842	Rozpadła się w 1902, odbudowana w 1912
 Kościół Mariacki	Kraków, Polska	727	Kościół
 Zamek	Golub-Dobrzyń, Polska	717	
 Bazylika Archikatedralna św. Jana Chrzciciela	Warszawa, Polska	627	Kościół
Santa Maria del Fiore	Florencja, Włochy	556	Kościół
Katedra św. Piotra	Rzym, Włochy	364	Kościół
Brownstones	Nowy Jork, USA	100	częściowo użytkowane
Hotel Deauville	Atlantic City, USA	40	wysadzone przez dewelopera



Rys. 2. Zrekonstruowany łuk świątyni Domicjana w Efezie, wiek: 2000 lat

Utrzymanie (konserwacja) to zespół różnorodnych działań zapobiegawczych podejmowanych po to, aby umożliwić spełnianie przez obiekt przypisanych mu funkcji przez okres użytkowania [6]. Do działań tych należy zaliczyć czyszczenie, drobne naprawy, roboty malarskie, reperacje drobnych uszkodzeń, a także wymianę niektórych części konstrukcji w miarę potrzeby. Działania te są na ogół wynikiem przeprowadzonych przeglądów technicznych. Do bieżącego utrzymania konstrukcji nie zalicza się remontu. Remont to wykonanie robót budowlanych polegających na odtworzeniu stanu pierwotnego, które wykonuje się po upływie projektowanego okresu użytkowania konstrukcji. Zapewnienie trwałości obiektu wymaga przeprowadzenia stosownych działań w związku z jego utrzymaniem. Jednocześnie przeświadczenie o trwałości konstrukcji jest często przyczyną, lekceważenia drobnych objawów uszkodzeń i do naprawy przystępuje się dopiero, gdy uszkodzenia są już zaawansowane. Powoduje to, że często naprawy – nawet poważne – są przeprowadzane w ramach utrzymania obiektów budowlanych. Obok tych napraw wynikających ze strategii zarządzania konstrukcją (rys. 3), często zachodzi konieczność przeprowadzenia napraw w celu usunięcia skutków zdarzeń losowych, takich jak uderzenia, wybuchy, pożar, a także przeciążenia, nadmierne przemieszczenie – np. w wyniku osiadania, czy też oddziaływania sąsiadujących obiektów – np. wibracje spowodowane ruchem kolei podziemnej. Nadrzędnym wymaganiem przyświecającym strategii zarządzania konstrukcją jest zapewnienie (utrzymanie lub przywrócenie) nośności i stateczności oraz bezpieczeństwa użytkowania konstrukcji.

Zrównoważony rozwój jest koniecznością cywilizacyjną, a także nakazem prawnym [7]. Rozporządzeniem Parlamentu Europejskiego i Rady Unii Europejskiej nr 305/2011 [8] obowiązującym od 1 lipca 2013 roku wprowadzono nowe, siódme wymaganie podstawowe: zrównoważone wykorzystanie zasobów naturalnych. Zgodnie z tym Rozporządzeniem – Construction Product Regulation, CPR – UE 305/201, jednym ze sposobów zapewnienia zrównoważonego wykorzystania zasobów naturalnych jest zapewnienie trwałości obiektów budowlanych. Ochrona konstrukcji w sposób bezpośredni służy zapewnieniu tej trwałości, a naprawy w zależności od momentu ich podjęcia i ich zakresu służą bądź zachowaniu użyteczności, bądź jej przywróceniu i w konsekwencji przyczyniają się do przywrócenia bądź przedłużenia oczekiwanej trwałości. W ten sposób działania w zakresie ochrony i naprawy stają się istotnym narzędziem kształtowania zrównoważonego budownictwa.



Rys. 3. Cykle naprawcze w czasie użytkowania konstrukcji przy różnych strategiach zarządzania konstrukcją wg PN-EN 1504-9

Równocześnie wobec sposobu przeprowadzenia samej naprawy (a więc doboru zasad, metod, materiałów i narzędzi do jej przeprowadzenia) powstają oczekiwania podyktowane wymaganiami zrównoważenia. Oczekiwania te są intuicyjnie zrozumiałe i odczytywane jako minimum nakładów materiałowych i energetycznych oraz zminimalizowanie oddziaływania na środowisko podczas naprawy, w tym minimalny poziom hałasu, a także maksymalne skrócenie czasu wyłączenia obiektu z eksploatacji. Z tym wiąże się również osiągnięcie przez obiekt po naprawie wyższego stopnia zrównoważenia, a więc również wyższego komfortu użytkowania, w tym lepszej jakości powietrza, zdrowotności materiałów, niższego poziomu hałasu. W tym obszarze formułowane są tylko bardzo ogólne wymagania [9, 10, 11], brak jest szczegółowych wskazań. Ukazuje się natomiast hasłowe zawołanie, że naprawa betonu to „najwyższy akt zrównoważenia” – *the ultimate act of sustainability* [11]. Społeczne znaczenie zrównoważenia poprzez naprawy konstrukcji nie może być jednak przeceniane. Rehabilitacja obiektów budowlanych ma coraz większy udział w działalności budowlanej, ale nie oczekuje się, że stanie się totalnym sposobem zaspokojenia stale rosnących potrzeb społecznych. Obiekty budowlane powoli, lecz często, podlegają transformacji z obiektów biurowych w mieszkalne, z fabryk w restauracje, ze starych domostw w muzea itp. Przystosowanie istniejących obiektów – połączone z jego naprawami – do nowych potrzeb, to realizacja zrównoważenia [12]. Zawsze jednak żywot części obiektów będzie się po określonym czasie życia kończył rozbiórką, a następnie powtórным użyciem niektórych jego elementów i recykлизacją pozostałych. W odniesieniu do elementów betonowych przemawia za tym również fakt, że jednokrotna recykлизacja w połączeniu z procesem karbonatyzacji podczas użytkowania powoduje, że 80% emisji CO₂ wytworzonego podczas powstawania cementu zostaje pochłonięte przez beton. W ten sposób to zakłócenie ekologiczne spowodowane przez tworzenie betonu zostaje praktycznie wyeliminowane. Zrównoważone budownictwo jest jednym z podstawowych wyzwań współczesnej technologii i jednym z istotnych celów polityki zrównoważonego

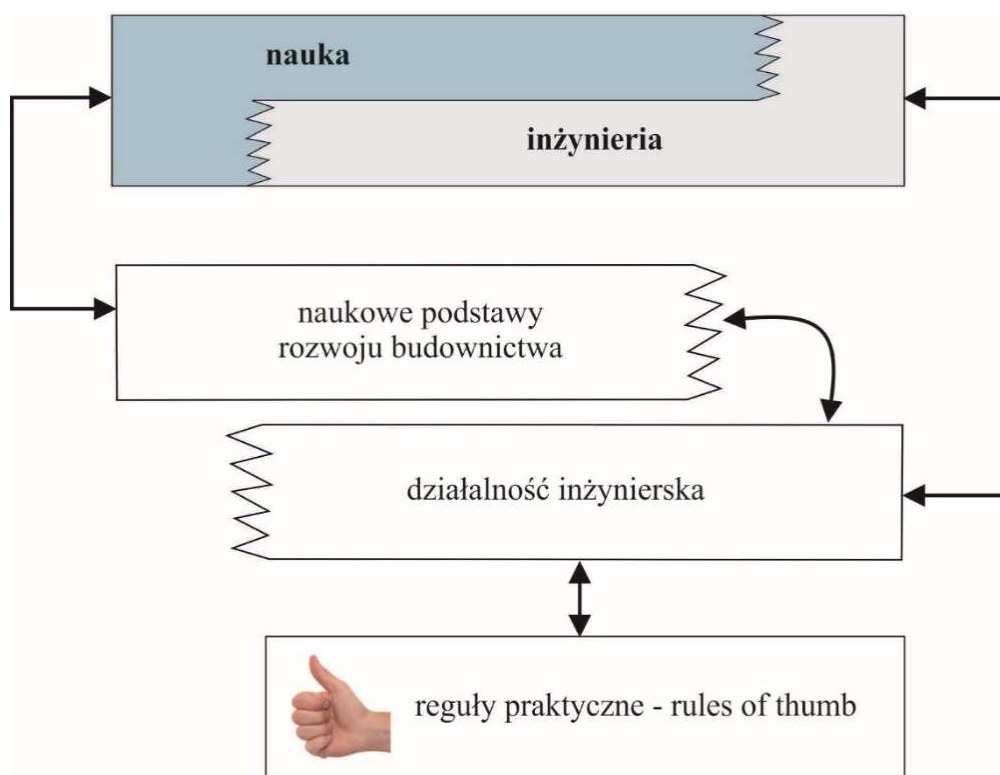
rozwoju. W tym kontekście naprawa i ochrona konstrukcji to istotne czynniki zapewniające zrównoważenie w budownictwie. Równocześnie wymagania zrównoważonego rozwoju będą dyktowały sposób i określały cel przeprowadzenia naprawy. PN-EN 1504 nie zajmuje się określeniem warunków zrównoważonej naprawy ani też stopnia zrównoważenia obiektu po naprawie. Zagadnienia te w chwili obecnej pozostawiono intuicji inżynierskiej. W tym kontekście należy przypomnieć, że energia konsumowana podczas użytkowania obiektu jest dziesięciokrotnie większa od energii spożytkowanej podczas wznoszenia [13]. Tak więc ważniejsze jest, aby skutkiem naprawy była poprawa energooszczędności obiektu, niż zaoszczędzenie na samej naprawie (nawet, jeśli różne podmioty miałyby ponosić te koszty). Naprawy są środkiem do przywrócenia użyteczności i przedłużenia trwałości obiektowi. W trakcie dalszego użytkowania obiekt po naprawie powinien odznaczać się podwyższonym stopniem zrównoważenia. Naprawa prowadząca do tego celu powinna być przeprowadzona w sposób podporządkowany wymaganiom zrównoważenia [12]

3. Reguły praktyczne w budownictwie

Jak już wspomniano wynikiem przenikania się w dyscyplinie naukowej Budownictwo nauki i inżynierii jest występowanie reguł praktycznych w liczbie większej niż w innych dziedzinach nauki. Jest to również skutkiem faktu, że historycznie w tej dziedzinie inżynieria/rzemiosło znacznie wyprzedziły powstanie nauki. Reguły praktyczne to lapidarnie sformułowane zalecenia („mocne w rzeczy, a łagodne w sposobie sformułowania”), które odwołują się do doświadczenia, stanowią pewne przybliżenie, ale zarazem wykorzystują podstawy naukowe i powinny z nimi być zgodne. Stanowią praktyczne wykorzystanie stwierdzenia, że „lepiej mieć w przybliżeniu rację niż się dokładnie mylić”. Reguły praktyczne odwołują się również do wiedzy niesformalizowanej, często nie przekazywanej na studiach, a także do wiedzy eksperckiej – zespołowej wiedzy społeczności inżynierskiej (rys. 4) – często nieuświadomionej. Reguły te są na świecie katalogowane i na bieżąco wydawane; z reguły pod bezpretensjonalnym tytułem np. 101 reguł spod dużego palca dla budownictwa [14-17]. W Polsce w tym względzie odczuwamy pewne skrzępowanie i brzmi to bardziej pompatycznie jak Fundamenty wiedzy fachowej [18].

W końcu XX wieku klasycznym paradygmatem zabezpieczenia przeciwwodnego było: trzy razy papa na lepiku. Przykłady obecnie wykorzystywanych reguł praktycznych to [3]:

- minimalny wymiar elementu betonowego powinien być co najmniej trzykrotnie większy od maksymalnego wymiaru ziarna;
- każdy technolog betonu może „intuicyjnie” określić podstawowe cechy betonu znając współczynnik wodno-cementowy w/c;
- jeśli ręka po zanurzeniu w zbiorniku kruszywa pozostaje brudna, to zawartość części ilastych jest zbyt duża;
- dodanie 4 dm³ wody do 1 m³ mieszanki betonowej powoduje:
 - opad stożka zwiększony o 25 mm,
 - wzrost skurczu twardnienia betonu o 10%,
 - zmniejszenie wytrzymałości na ściskanie o 2 MPa;
- wzrost temperatury otoczenia o 5°, to:
 - czas wiązania mniejszy o 30%,
 - zawartość powietrza w betonie zmniejszona o 1%,
 - opad stożka zmniejszony o 20 mm,
 - wytrzymałość na ściskanie mniejsza o 1 MPa;
- każde zwiększenie o 10 kg zawartości cementu w 1 m³ mieszanki betonowej w elementach masowych powoduje wzrost temperatury „czwartego dnia” o 13 deg.



Rys. 4. Schematyczne przedstawienie kształtowania reguł praktycznych w obrębie dyscypliny naukowej Budownictwo

Naukowy status uzyskały takie reguły praktyczne jak:

– wzór Bolomey’a*:

$$f_c = A_{1,2} \cdot \left(\frac{c}{w} \pm 0,5 \right),$$

gdzie: f_c – wytrzymałość na ściskanie, A – współczynnik zależny od rodziny betonów,

- reguła Arrheniusa, która mówi, że wzrost temperatury o 10° dwukrotnie zwiększa szybkość reakcji chemicznej, np. korozji zbrojenia. Ostatnio reguła ta jest wykorzystywana [19], jakkolwiek nie bez zastrzeżeń [20], do modelowania dojrzłości betonu [21],
- reguła Boyer-Beemana, która mówi, że iloraz temperatury zeszklenia T_g i temperatury topnienia T_i jest wartością stałą, $T_g/T_i = \text{const}$.

W dobie CAD i BIM reguły praktyczne są przytaczane z pewnym zażenowaniem. Jest jednakże wiele powodów, aby uważać, że tak zwane PAC – Probably Approximately Correct – przypuszczalnie w przybliżeniu poprawna wartość jest istotna w działaniu inżynierskim,

* jeśli $c/w \leq 2,5$ to: $-0,5$, a jeśli $c/w > 2,5$ to: $+0,5$

w tym spełnia zdroworozsądkowe funkcje weryfikacyjne [22]. Jest to szczególnie istotne w odniesieniu do studentów i młodych inżynierów, którzy wobec powszechnego stosowania programów komputerowych są zanurzeni w świecie wirtualnym odległym od budowy i budowania. Specjaliści także często nie wnikają w szczegóły „software’u”, który stosują w obliczeniach. Wówczas trudno przecenić znaczenie znajomości przypuszczalnie w przybliżeniu poprawnej wartości [23]. Ponadto reguły praktyczne pomagają zachować, a nawet odrodzić intuicję inżynierską oraz zapobiegają „powtórnemu wynalezieniu koła”, a także pomagają utrzymać łączność między nauką i inżynierią, podczas gdy przenikanie nauki i techniki w inżynierii lądowej staje się coraz bardziej oczywiste. Należy jednakże dodać jeszcze trzy reguły praktyczne ogólnego stosowania:

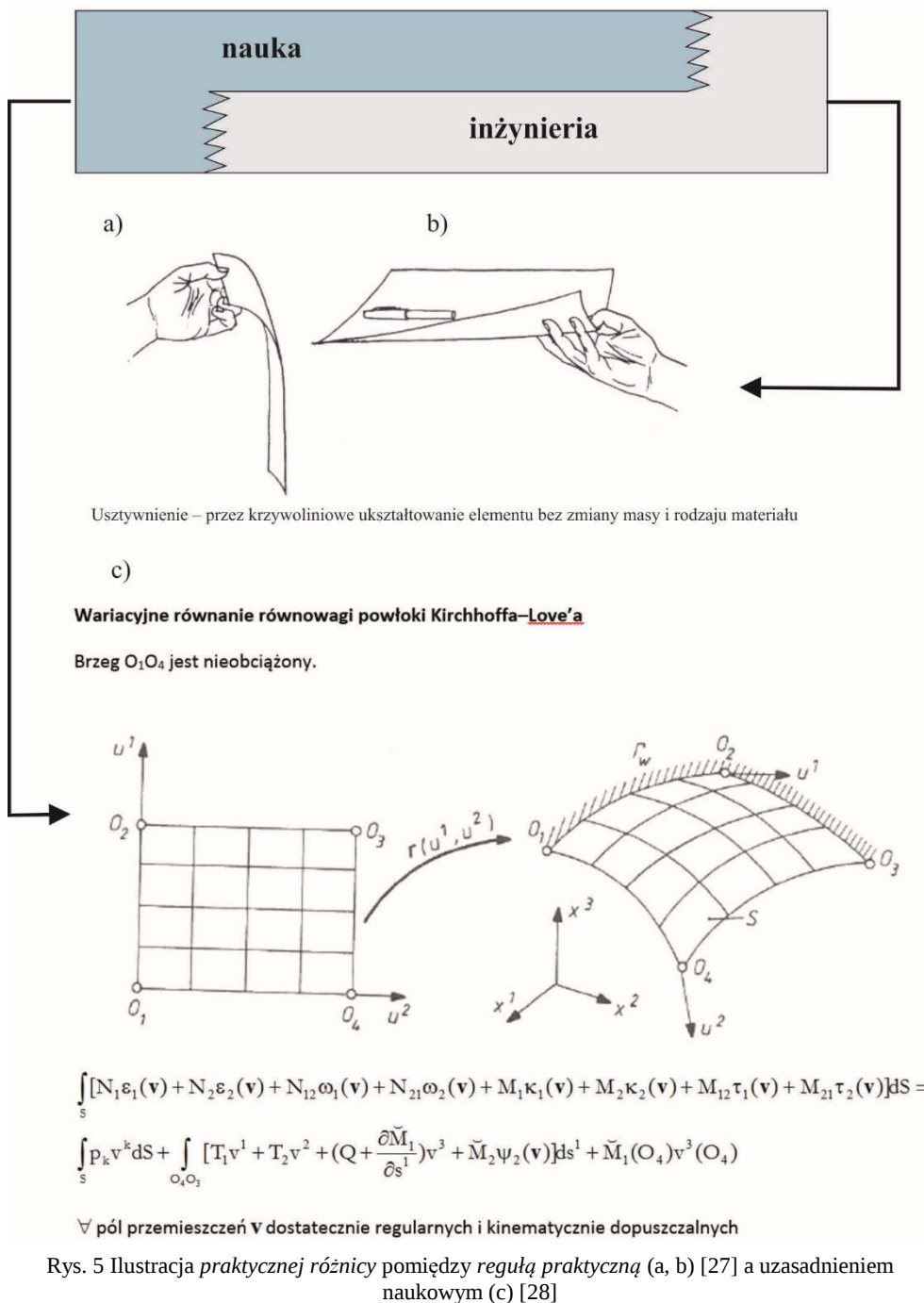
- aby odnaleźć trafną informację w internecie, należy odrzucić co najmniej dziewięć informacji nieistotnych (zasada 90:10 wg Banerjee);
- zasada 80:20 wg Kocha mówi, że 20% naszych wysiłków przynosi 80% korzyści, jednakże uważa się, że w projektowaniu konstrukcji obowiązuje wg Hyde [24] zasada 5:95 – ostatnie 5% projektu zajmuje 95% czasu.

4. Naprawy: ujęcie naukowe versus reguły praktyczne

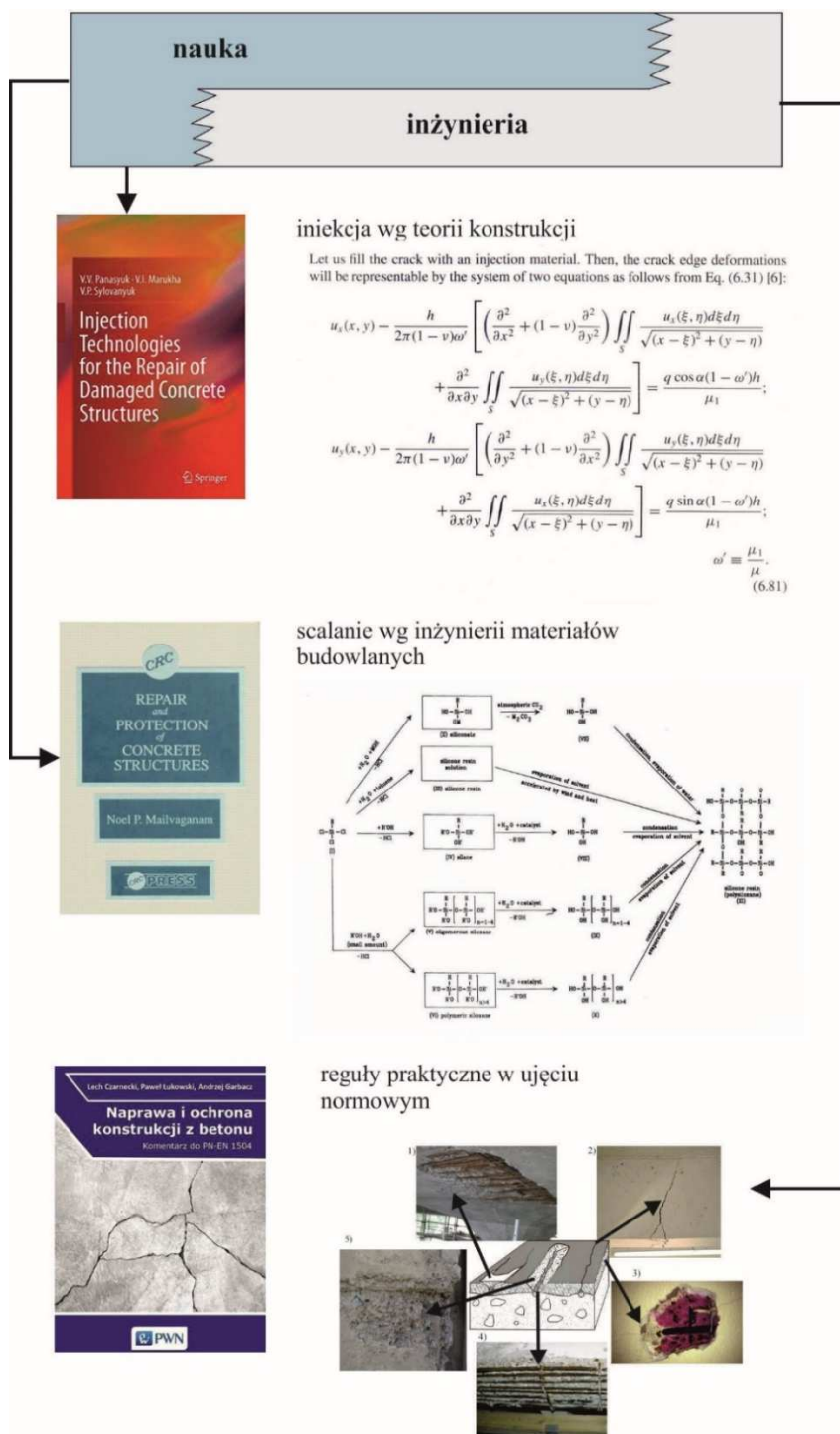
Reguły praktyczne w budownictwie, a w odniesieniu do napraw w szczególności, mogą być stosowane jedynie przy zachowaniu dużej ostrożności. Reguły praktyczne stanowią tylko przybliżenie, często grube, rzeczywistości, a więc mogą być obarczone dużą niepewnością. Często są formułowane w postaci korelacji statystycznych. Nakłada to konieczność zachowania szczególnej ostrożności, aby unikać skojarzeń iluzorycznych tzn. wykazywania statystycznej istotności mimo braku zależności przyczynowo-skutkowej. W literaturze jest analizowany przypadek [3, 25, 26] kościoła w Zicher, Belgia. Jest to przypadek, który narusza ogólną zasadę praktyczną, że jeśli obiekt stoi już 500 lat, to będzie stał następne 500 lat lub w wersji uogólnionej jeśli już tyle stoi, to postoi dwa razy tyle. Metodą Monte Carlo została przeprowadzona analiza prawdopodobieństwa wystąpienia katastrofalnego uszkodzenia obiektu. Okazało się, że prawdopodobieństwo wystąpienia katastrofy 700 letniego kościoła jest duże. W związku z tym przeprowadzono niezbędne naprawy i wzmocnienia. Na decyzję o naprawie, niezależnie od analizy probabilistycznej, istotny – a nawet decydujący wpływ miał fakt, że wcześniej runęła wieża znajdującego się w pobliżu obiektu kościelnego o zbliżonym wieku.

Technologia przeprowadzania napraw jest konsekwencją – często odległą – ustaleń naukowych. W wielu przypadkach łatwo jest dostrzec praktyczną różnicę między regułą praktyczną a wiedzą stanowiącą jej uzasadnienie (rys. 5). Przykładowo zalecenie usztywnienia elementu przez krzywolinearne ukształtowanie bez zmiany masy i rodzaju materiału jest intuicyjnie trafne i zawiera się w ramach sztuki inżynierskiej (rys. 5 a, b). Naukowe uzasadnienie (rys. 5c) może wykraczać nie tyle poza zrozumienie, co poza umiejętności i możliwości wykonującego naprawy. Wysoce specjalistyczne podejście, jakkolwiek stwarza podstawy naukowe, to jednakże nie ułatwia działania na obiekcie. Pokazane przykłady nie pozostawiają w tym zakresie wątpliwości (rys. 6).

Norma techniczna, w tym dotycząca naprawy betonu, wykorzystuje podstawy naukowe, jednakże nie tłumaczy przyczyn przyjętych ustaleń, rzadko też podaje podstawy ich przyjęcia. Postanowienia normowe mają charakter nakazowy lub zakazowy. Racjonalne wyjaśnienie przyjętych postanowień wpływa jednak na poczucie profesjonalnego komfortu użytkownika normy i staranność we wprowadzeniu postanowień normowych do stosowania.



Rys. 5 Ilustracja praktycznej różnicy pomiędzy regułą praktyczną (a, b) [27] a uzasadnieniem naukowym (c) [28]



Rys. 6. Schematyczne przedstawienie przenikania nauki i inżynierii w zakresie problematyki napraw konstrukcji z betonu

5. Praktyczne reguły napraw betonu wg PN-EN 1504

Norma to w założeniu zbiór metod praktycznych; norma nie wymaga ich zrozumienia, lecz stosowania (ze zrozumieniem). Tak więc wyabstrahowanie *reguł praktycznych* na użytek tej publikacji i jej przyszłych czytelników to zabieg *wyznaczenia różniczki drugiego stopnia*. Według mojej oceny właśnie 10 tomowa PN-EN 1504, łącznie 300 stron druku, odznacza się dużym stopniem uwikłania i jest w wielu miejscach trudnozrozumiała. Bez względu na to, jak trudna w odbiorze jest ta norma, to jej celem jest zapewnienie skuteczności napraw. „Naprawa naprawy” jest dla wszystkich uczestników tego zdarzenia działaniem ogromnie frustrującym, a dla firmy wykonawczej niejednokrotnie rujnującym. Niektóre operacje naprawcze, np. iniekcje rys – są nienaprawialne. Powyższe przesłanki skłoniły mnie wraz ze współautorami: Pawłem Łukowskim i Andrzejem Garbaczem, do opracowania komentarza do tej normy [29]. W książce zamieszczono 105 rysunków, głównie algorytmów i schematów postępowania, podczas gdy w normie właściwej są tylko 2 rysunki. Usiłując przedstawić reguły praktyczne zgodnie z definicją przekazaną w tej pracy, jako lapidarne zalecenia odwołujące się do doświadczenia, jednocześnie stanowiące pewne zgodne z nauką przybliżenie, doszedłem do wniosku, że najwłaściwiej będzie ograniczyć tekst do minimum i przestawić rzecz na wybranych rysunkach. W rezultacie lista reguł praktycznych napraw betonu przybrała postać: hasłowe sformułowanie reguły + rysunek [komentarz]. Książkę „Naprawa i ochrona konstrukcji z betonu. Komentarz do PN-EN 1504”, PWN 2017 [29] w tych hasłowych sformułowaniach określono jako „Komentarz”.

Reguły praktyczne napraw konstrukcji z betonu wg PN-EN 1504

1. Jeśli nie posługujesz się Komentarzem* to rozpocznij studiowanie zbioru norm PN-EN 1504 od części 9 (rys. 7);
2. Przed przystąpieniem do naprawy należy określić przyczynę uszkodzeń i zdiagnozować stan konstrukcji (rys. 8);
3. Naprawiamy *po przyczynach* a nie *po skutkach*. Skutki usuwamy „przy okazji” naprawy;
4. Podejmując decyzję o naprawie należy pamiętać, że pomiędzy *wstrzymaniem się od działań* a *rozbiórką* istnieje cały szereg opcji pośrednich (rys. 9), a mianowicie:
 - a. wstrzymanie się z działaniem przez pewien czas, lecz monitorowanie stanu konstrukcji;
 - b. analiza nośności, która może skutkować ograniczeniem funkcji (obniżenie obciążeń) obiektu;
 - c. powstrzymanie lub ograniczenie (ochrona powierzchniowa) dalszej degradacji, bez naprawy konstrukcji betonowej;
 - d. wzmocnienie lub ochrona i naprawa całej konstrukcji betonowej lub jej części;
 - e. odbudowa lub wymiana całej konstrukcji betonowej lub jej części;
 - f. rozbiórka całej konstrukcji betonowej lub jej części.

Wybór każdej możliwości niesie za sobą inny poziom ryzyka wystąpienia uszkodzeń w przyszłości.

5. Decyzja o naprawie: czy naprawiać i w jakim zakresie oraz jak i czym? wymaga rozważenia następujących zagadnień:

objawy uszkodzeń → przyczyny uszkodzeń → zasada naprawy → metoda naprawy → wybór wyrobu/system naprawczy.

* w Komentarzu przytoczono w sposób wyodrębniony – oznaczone kolorem niebieskim – odpowiednie postanowienia normowe

6. Przed przystąpieniem do naprawy należy opracować projekt naprawy (rys. 10, 11).
7. Istnieje 6 zasad naprawy betonu (tab. 2) i 5 zasad ochrony zbrojenia (tab. 3). Dobór zasady naprawy jest najważniejszym elementem projektowania naprawy, decydującym o jej skuteczności.

Tablica 2. Zasady naprawy betonu wg EN 1504-9

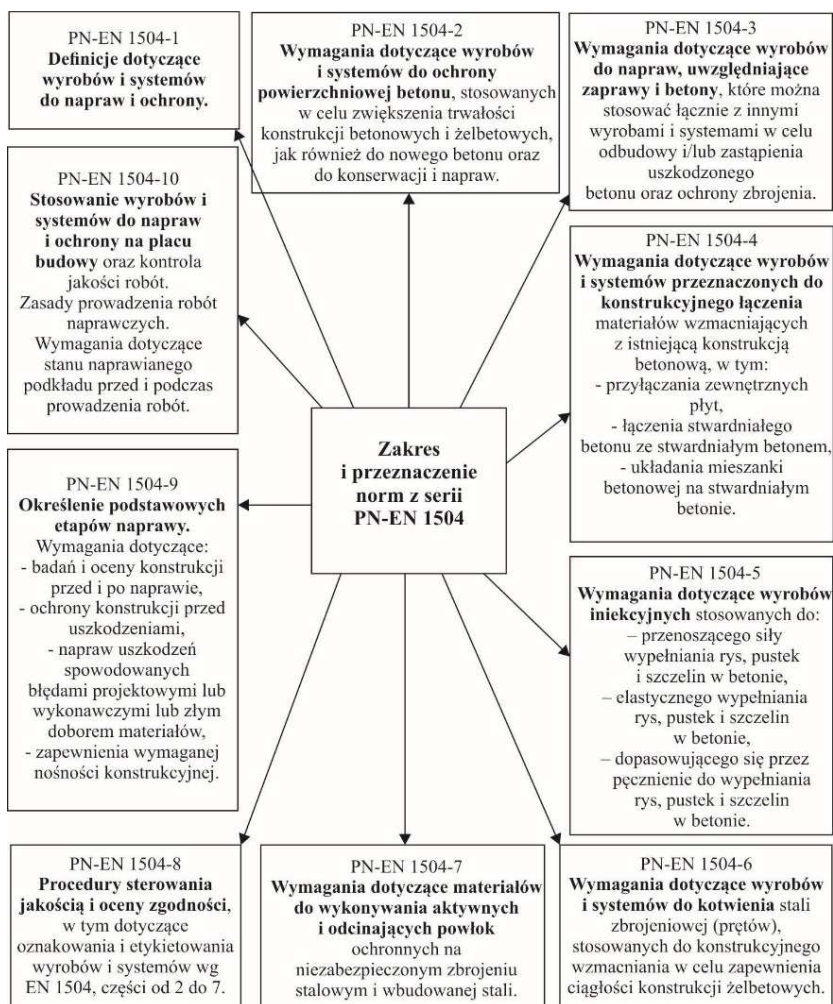
Oznaczenie*	Zasada
PI	1. Ochrona przed wnikaniem (<i>Protection against Ingress</i>)
MC	2. Ograniczenie zawilgocenia (<i>Moisture Control</i>)
CR	3. Odbudowanie elementu (<i>Concrete Restoration</i>)
SS	4. Wzmocnianie konstrukcji (<i>Structural Strengthening</i>)
PR	5. Odporność na czynniki fizyczne (<i>Physical Resistance</i>)
RC	6. Odporność na czynniki chemiczne (<i>Resistance to Chemicals</i>)
* w obecnej wersji EN 1504-9 nie stosuje się już literowych oznaczeń zasad	

Tablica 3. Zasady dotyczące ochrony zbrojenia wg EN 1504-9

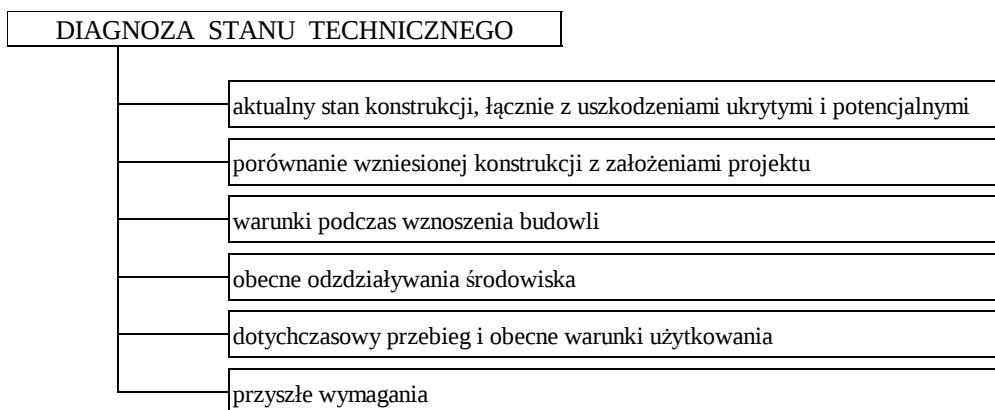
Oznaczenie*	Zasada
RP	1. Utrzymanie lub przywrócenie stanu pasywnego stali zbrojeniowej (<i>Preserving or Restoring Passivity</i>)
IR	2. Podwyższenie oporności elektrycznej otuliny betonowej (<i>Increasing Resistivity</i>)
CC	3. Kontrola obszarów katodowych (<i>Cathodic Control</i>)
CP	4. Ochrona katodowa (<i>Cathodic Protection</i>)
CA	5. Kontrola obszarów anodowych (<i>Control of Anodic Areas</i>)
* w obecnej wersji EN 1504-9 nie stosuje się już literowych oznaczeń zasad	

8. Pięć zaleceń skutecznej naprawy to (rys. 12, 13):

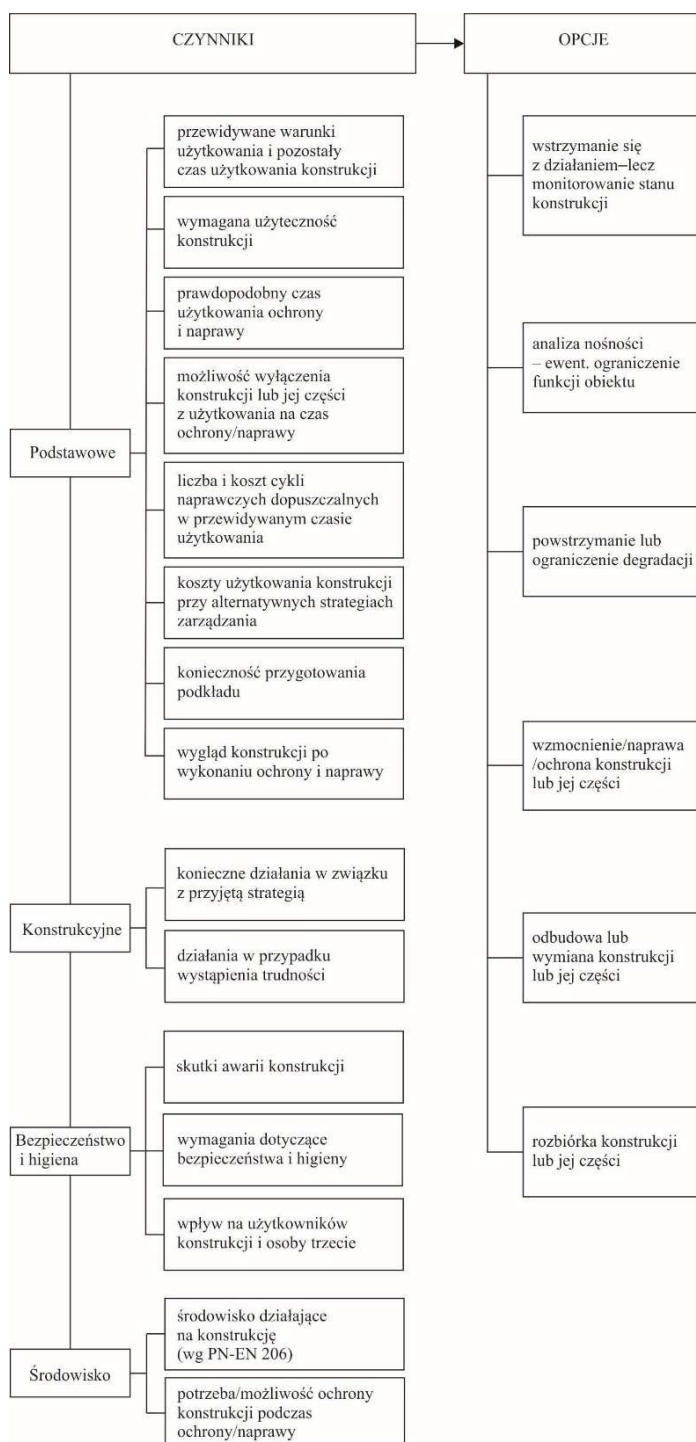
- I. Ochrona przed działaniem zewnętrznych czynników chemicznych i fizycznych: iniekcja rys, impregnacja, powłoki ochronne.
- II. Ograniczenie zawilgocenia: hydrofobizacja, powłoki ochronne.
- III. Uzupełnienie ubytków – odbudowa kształtu i funkcji: zaprawy i betony naprawcze, zaprawy i betony natryskowe.
- IV. Wzmocnienie: iniekcja rys, uzupełnienie lub wymiana zbrojenia, zbrojenie zewnętrzne – doklejenie płyt i taśm, sprężanie.
- V. Ochrona zbrojenia: realkalizacja – wymiana skarbonatyzowanej otuliny, ograniczenie zawilgocenie i dostępu tlenu – powłoki na zbrojenie i powłoki zewnętrzne; inhibitory korozji; ochrona elektrochemiczna (zewnętrzne źródło prądu lub wprowadzenie „anody traconej” – ochrona galwaniczna).



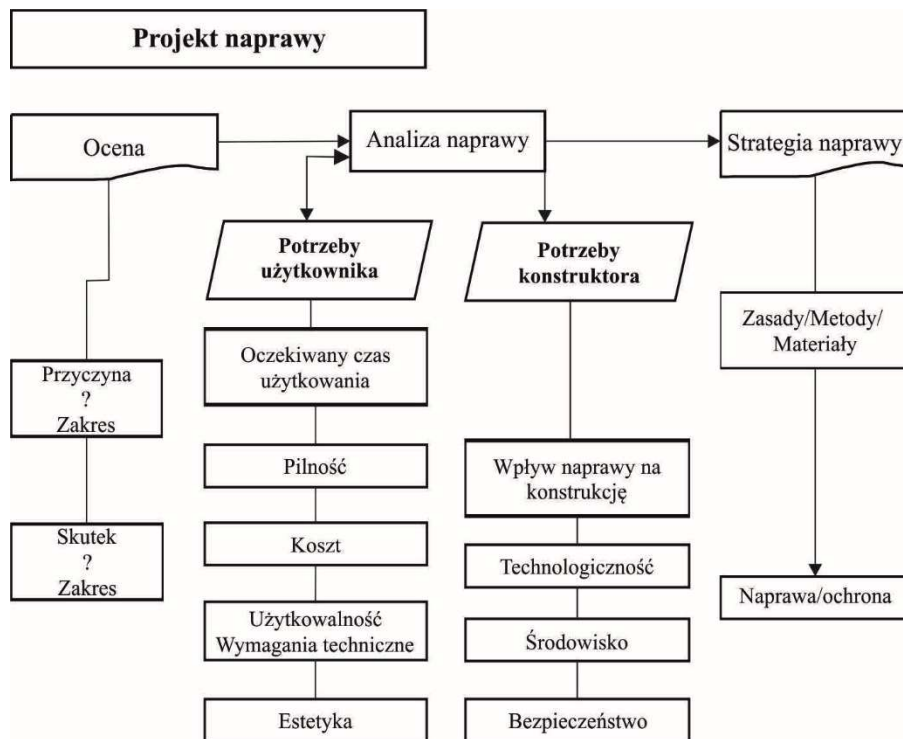
Rys. 7 Zakres i przeznaczenie norm z serii PN-EN 1504



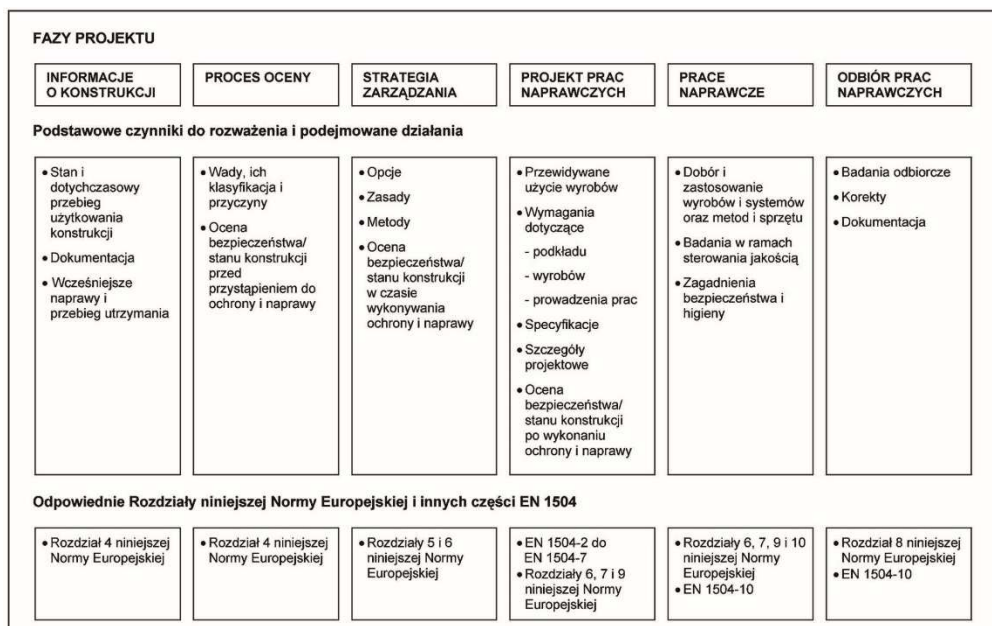
Rys. 8 Elementy diagnozy stanu konstrukcji



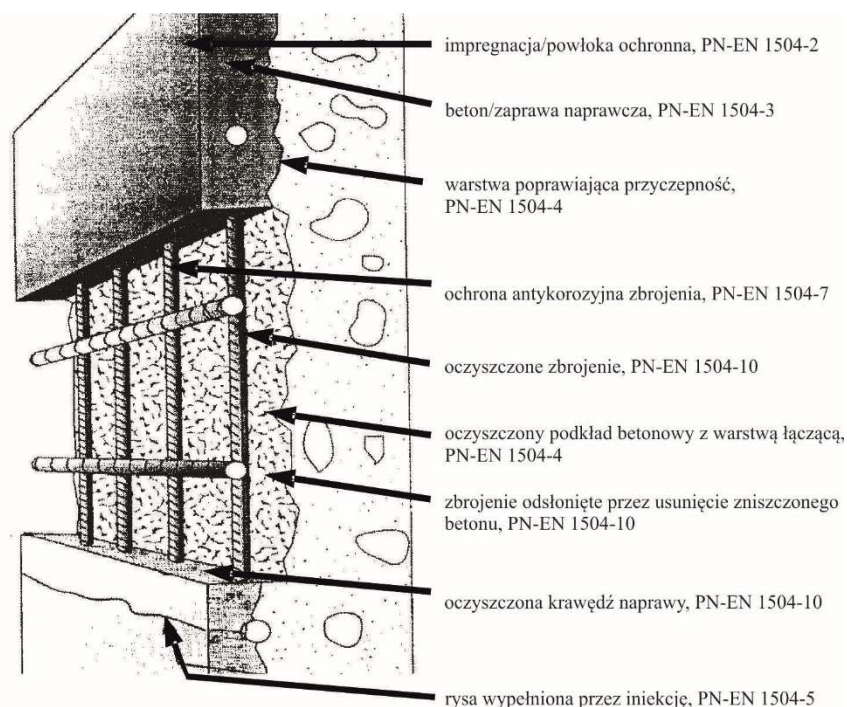
Rys. 9 Czynniki wpływające na decyzję o ochronie/naprawie w ramach strategii zarządzania konstrukcją oraz dostępne sposoby postępowania (wzorowane na PN-EN 1504-9)



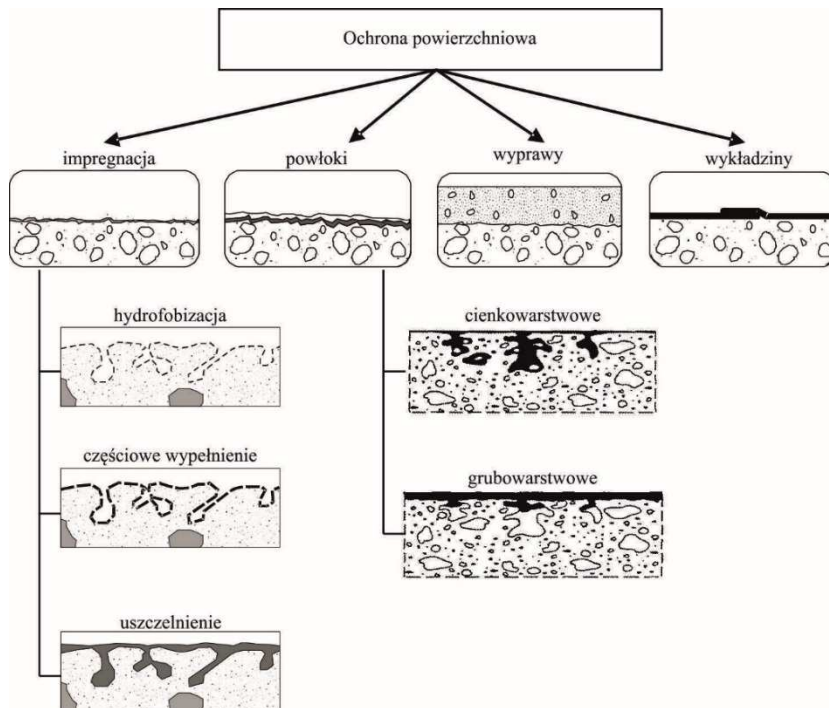
Rys. 10 Ogólny schemat projektu naprawy



Rys. 11 Fazy typowych projektów naprawczych wg PN-EN 1504-9



Rys. 12 Naprawa elementu żelbetowego z przypisaniem odpowiednich części normy PN-EN 1504



Rys. 13 Sposoby ochrony powierzchniowej wg PN-EN 1504-2

Podsumowanie

Mimo wielu zastrzeżeń i obostrzeń udało się sformułować w ośmiu zaleceniach reguły praktyczne naprawy betonu. Można to określić jako „naprawa betonu w pigułce”. Bliżej zainteresowanych zapraszamy do naszej książki „Naprawa i ochrona konstrukcji z betonu. Komentarz do PN-EN 1504”, PWN 2017. Lech Czarnecki, Paweł Łukowski, Andrzej Garbacz.

Podziękowania

Autor składa serdeczne podziękowania dr inż. Jarosławowi Szulcowi i mgr inż. Sławomirowi Dudziakowi z ITB za pomoc w doborze przykładów konstrukcyjnych.

Literatura

1. ACI 201.2R-01 Guide to Durable Concrete. http://www.bpesol.com/bachphuong/media/images/book/2012_r_01.pdf.
2. Radomski W.: Nauka w inżynierii lądowej a rola Instytutu Techniki Budowlanej. Strategia instytutów badawczych budownictwa, Instytut Techniki Budowlanej, 2015.
3. Czarnecki L., Van Gemert D.: Scientific Basis and Rules of Thumb in Civil Engineering: Conflict or Harmony? Bull. Pol. Ac.: Tech. 64 (4), 665–673, 2016. DOI: 10.1515/bpasts-2016-0075.
4. Raupach M., Büttner T., Concrete repair to EN 1504: Diagnosis, Design, Principles and Practice, CRC Press, 2014.
5. Prawo budowlane, Dz. U. z 2016 r. poz. 290; art. 5.1
6. Ściślewski Z.: Utrzymanie konstrukcji żelbetowych, Instytut Techniki Budowlanej, 1997.
7. Czarnecki L., Kaproń M., Piasecki M., Wall S.: Budownictwo zrównoważone budownictwem przyszłości. „Inżynieria i Budownictwo” nr 1/2012.
8. Regulation (EU) No. 305/2011 of the European Parliament and of the Council of 9 March 2011, laying down harmonized conditions for marketing of construction products and repealing Council Directive 89/106/EEC.
9. Goodwin F.: Concrete Repair: the Ultimate Sustainability. http://www.sspc.org/media/documents/tech/feb_tech_12.pdf, dostęp 17.07.2016.
10. Waris M. (et. al.): Criteria for the Selection of Sustainable onsite Construction Equipment. International Journal of Sustainable Built Environment” vol. 3, nr 1/2014.
11. Whiteley D.L. (et al.): Sustainability for Repairing and Maintaining Concrete and Masonry Buildings. ICRI Committee 160, www.icri.org, http://www.icri.org/resource/collection/1023A08D-21D0-4AE9-8F9A-5C0A111D4AC9/ICRICommittee160-Sustainability_whitepaper.pdf.
12. Czarnecki L.: Wymaganie zrównoważonego wykorzystania zasobów naturalnych w odniesieniu do napraw i ochrony konstrukcji betonowych. Materiały Budowlane, nr 11/2016.
13. Heywood H.: 101 Rules of Thumb for Sustainable Buildings and Cities, RIBA Publishing, 2015.
14. Smith R. and Mobley R.K.: Rules of Thumb for Maintenance and Reliability Engineers, Butterworth-Heinemann, 2011.
15. McAllister E.W.: Pipeline Rules of Thumb Handbook: A Manual of Quick, Accurate Solutions to Everyday Pipeline Engineering Problems, Gulf Professional Publishing, 2015.
16. Rajapakse R.A.: Geotechnical Engineering Calculations and Rules of Thumb, Butterworth-Heinemann, 2015.
17. Rajapakse R.A.: Pile Design and Construction Rules of Thumb, Butterworth-Heinemann, 2016.
18. Fundament fachowej wiedzy. Poradnik projektanta, inżyniera i inspektora budowlanego <http://ptb.dashofer.pl/onb/?>
19. Carinio N.J. and Lew H.S.: The maturity method: From theory to application. Proceedings of the 2001 Structures Congress & Exposition, ed. P.C. Chang, American Society of Civil Engineers, 2001.
20. Kurdowski W. and Pichniarczyk P.: Problems with the Arrhenius equation in the evaluation of concrete maturity. Cement Lime Concrete nr 3/2016.
21. Bobrowicz J.: Influence of reduced temperature and admixtures on hydration of cements. Cement Lime Concrete nr 3/2016.

22. Fisher D.: Rules of Thumb for Engineers and Scientists, Gulf Publishing Company, 1991.
23. Arbesman S.: Overcomplicated: Technology at the Limits of Comprehension, Penguin Random House LLC, 2016.
24. Hyde J.: Getting chartered: the last 5%, being brunel, www.beingbrunel.com/getting-chartered-the-last-5.
- Verstrynghe E., Schueremans L., and Van Gemert D.: Creep and failure prediction of Diestian ferruginous sandstone: modelling and repair options. *Construction and Building Materials* 29/2012, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2011.10.042.
25. Verstrynghe E., Schueremans L., and Van Gemert D.: Long-term behaviour of monumental masonry constructions: assessment methodology and case studies. *Bausubstanz, Zeitschrift für nachhaltiges Bauen, Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege* 2/2012.
26. Salvadori M.: Why building stand up. The strenght of architecture, W.W. Norton&Company, Inc., 1980.
27. Mazurkiewicz Z.: Cienkie powłoki sprężyste, OWPW, 2004.
28. Czarnecki L., Łukowski P., Garbacz A.: Naprawa i ochrona konstrukcji z betonu. Komentarz do PN-EN 1504, PWN, 2017.

RULES OF THUMB FOR CONCRETE CONSTRUCTION REPAIR

Abstract: The necessity and even inevitability of the construction repairing has been shown. The construction repair as a sustainability development has been considered. In construction activity – in practice „on site” – a lot of rules of thumb are used. Those rules often seems to be far away from a scientific statement, however they are a consequence of scientific deliberation. In this context the standard PN-EN 1504 could be treated as the set of rules for concrete construction repair. However the standard is in many cases not easy, intricated and seems to be unfriendly to the readers. On that basis a premise has been shown to elaborate the comment to the standard: *Naprawa i ochrona konstrukcji z betonu. Komentarz do PN-EN 1504*; PWN, 2017, by L. Czarnecki, P. Łukowski, A. Garbacz. In this paper author attempted to formulate rules of thumb for concrete construction repairs. The rules has been presented on the backdrop of science-engineering relation as the highlights complemented with suitable pictures.

Keywords: concrete, construction, repair, protection, rules of thumb, durability, sustainable development, science, engineering