

Stal do zbrojenia mikropali i gwoździ gruntowych wykonywanych w technologii samowiercącej

tekst: NATALIA MACA, JAKUB SIERANT, Titan Polska Sp. z o.o.



Zagadnienia związane z projektowaniem tradycyjnych konstrukcji, takich jak żelbetowe czy stalowe, są znane projektantom od lat, a obecnie bardzo dobrze uregulowane prawnie. W związku z tym proces ich wymiarowania oraz doboru materiałów konstrukcyjnych jest uporządkowany i – przy zachowaniu staranności technicznej – trudno o popełnienie błędu. Zupełnie inaczej rzecz ma się z konstrukcjami geotechnicznymi obejmującymi w szczególności stosunkowo młode dziedziny: gwoździowania gruntu oraz szerokiego wykorzystania mikropali.

1. Wstęp

Opis współpracy z gruntem jest z natury – z powodu złożoności tego ośrodka – trudny, a sytuację dodatkowo komplikował fakt braku zapisów prawnych dotyczących tych konstrukcji. Niestety, mimo że wiele uregulowań w zakresie mikropali i konstrukcji z gruntu gwoździowanego pojawiło się już w 2005 r., nadal zauważalna jest duża uznaniowość przy ich projektowaniu.

I tak, o ile do konstrukcji naziemnych stosowane są materiały powszechnie uznane i opisane w normach, o tyle we wspomnianych konstrukcjach geotechnicznych – będących przecież podstawą ustroju nośnego – wprowadzane są nierzadko materiały (gatunki stali) wykorzystywane w innych dziedzinach przemysłu i niesprawdzone w warunkach budowlanych a co za tym idzie – niemające oparcia w aktualnych zapisach normowych.

Kwestia jest szczególnie istotna przy stosowaniu mikropali i gwoździ gruntowych, wykonywanych w tzw. systemie samowiercącym, w którym stalowe elementy zbrojenia wykorzystywane są na etapie instalacji jako przewód wiertniczy i iniekcyjny. Najbardziej rozpowszechniony z tych systemów, oryginalny, opracowany ponad 25 lat temu system samowiercących iniekcyjnych mikropali i gwoździ gruntowych Ischebeck TITAN, wniósł ogromny wkład w rozwój rynku geotechnicznego, na zawsze zmieniając sposób myślenia o zagadnieniach budownictwa inżynierskiego. Dał projektantom wszechstronne narzędzie o ogromnych możliwościach, a wykonawcom łatwość i wydajność instalacji. Należy jednak pamiętać, że u podstaw geoinżynierskiej rewolucji stoją drobiazgowo przemyślane podstawy materiałowe całego systemu. Wszak połączenie w jednej żerdzi cech wymaganych dla narzędzia wiertniczego (aby system był sprawny i efektywny w fazie wykonawczej) oraz właściwości odpowiednich dla zbrojenia konstrukcyjnego nie jest wcale oczywiste. System musi być wydajny w fazie wykonawczej (umożliwiać uzyskanie odpowiedniego tempa wiercenia) oraz trwały, aby żerdź poddawana w trakcie wiercenia dużym obciążeniom (skręcanie, obciążenia dynamiczne) nie została przeciążona lub uszkodzona i zacho-

wując wszystkie właściwości wymagane dla zbrojenia, mogła być wykorzystana jako element konstrukcyjny. Pogodzenie tych funkcji oraz dobór odpowiedniego materiału do stworzenia systemu pochłonął wiele lat prac badawczo-rozwojowych i testów. Tymczasem popularność rynkowa systemu przyczyniła się do powstania wielu systemów konkurencyjnych, bazujących na tych samych założeniach, różniących się jednak znacząco w szczegółach konstrukcyjnych. Jak wspomniano, sercem systemu samowiercącego jest żerdź rurowa, i to ona właśnie decyduje o sukcesie. Jednocześnie żerdź, z uwagi na wspomniane uwarunkowania, jest najdroższym elementem systemu, i to właśnie jej dotyczy najwięcej różnic. Obecnie można spotkać systemy samowiercące oparte na dość egzotycznych gatunkach stali, co jest tym bardziej szokujące, że to przecież własności materiałów konstrukcyjnych decydują o bezpieczeństwie tych elementów, a odpowiedzialność za niewłaściwy ich dobór spada jedynie na projektanta.

Dlatego tak ważne wydaje się jasne określenie wymagań i warunków stosowania żerdzi samowiercących – iniekcyjnych mikropali i gwoździ gruntowych, co pozwoli uniknąć ryzyka oraz błędów formalnych czy projektowych. Niezwykle istotna jest również pełna świadomość, czym w rzeczywistości są systemy samowiercące, jak funkcjonują i jakim podlegają uregulowaniom formalnym.

W dalszej części tekstu w usystematyzowany sposób przedstawiono zagadnienia techniczne i formalne dotyczące stosowania zbrojenia mikropali i gwoździ gruntowych.

2. Podstawy formalne

Obecnie w Polsce, podobnie jak w pozostałych krajach członkowskich Unii Europejskiej, aspekty techniczne związane z mikropalami i gwoździami gruntowymi, zgodnie z dyrektywą dotyczącą wyrobów budowlanych, regulowane są przez Polskie Normy, z których najważniejsze to:

- PN-EN 14199:2015-07 *Wykonawstwo specjalnych robót geotechnicznych. Mikropale;*
- PN-EN 14490:2010 *Wykonawstwo specjalnych robót geotechnicznych. Gwoździe gruntowe.*

Normy te mają charakter wykonawczy, jednak – co ważne dla projektantów, jednostek nadzoru i osób odpowiedzialnych za poprawność formalną rozwiązań projektowych, a potem ich realizację – zawierają szczegółowe wymagania, w tym materiałowe, co do stosowania mikropali i gwoździ gruntowych, m.in. wykonywanych w technologii wiercenia z jednoczesną iniekcją (system samowierzący). Warto też zauważyć, co jest sporym ułatwieniem, że pomimo odmiennych przedmiotów normy te są spójne w zakresie opisu procesu technologicznego (wykonawstwa) oraz właściwości materiałowych elementu nośnego konstrukcji geotechnicznej. Odwołują się również do tych samych norm w zakresie materiałów i podejść projektowych.

Na długo przed ustanowieniem wyżej wymienionych Polskich Norm dotyczących mikropali i gwoździ gruntowych funkcjonowały wyczerpujące uregulowania niemieckie (w Niemczech od 1983 r. konieczna jest krajowa aprobatą techniczna w tym zakresie). Niemiecki producent systemu TITAN – Friedr. Ischebeck GmbH – przeprowadził szeroko zakrojone i wnikliwe badania, które pozwoliły otrzymać Krajową Aprobata Techniczną Z-34.14-209 *Pale iniekcyjne TITAN*, obejmującą projektowanie, wymiarowanie, warunki stosowania i wykonywanie mikropali. Należy tu przypomnieć, że w obszarze budownictwa to właśnie niemieckie aprobaty i normy wskazywały kierunki rozwoju oraz promowały nowe produkty i technologie wśród projektantów, wykonawców i inwestorów, co zresztą znajduje odzwierciedlenie w aktualnych normach europejskich, w których wiele zapisów oparto na przepisach niemieckich.

Nieco inaczej kwestia zapisów prawnych wygląda w USA, gdzie nie ma właściwie postanowień o statusie norm, ale istnieją następujące rekomendacje oraz przewodniki projektowe i wykonawcze dotyczące mikropali i gwoździ gruntowych:

- Hollow Bar Soil Nails (HBSN), Publication No. FHWA-CFL/TD-09-001, czerwiec 2009 r.;
- Hollow Core Soil Nails / State of the Practice-FHWA-SA-97-070, kwiecień 2006 r.;
- Micropile, Design and Construction Guidelines, FHWA-SA-97-070, czerwiec 2000 r.

Niezależnie od miejsca opracowania, wyróżniającą cechą wspólną jest to, że wszystkie przytoczone opracowania szczegółowo regulują wymagania materiałowe dla zbrojenia, które decyduje o nośności i trwałości mikropali czy gwoździ gruntowych. W żadnym miejscu na świecie o rozwiniętej kulturze technicznej kwestia ta nie pozostaje nieuregulowana i nie jest przedmiotem dowolności. Spełnienie tych założeń jest szczególnie istotne w najpopularniejszych obecnie technologiach samowierzących, gdzie gwintowana żerdź stalowa – jako element będący jednocześnie przewodem wierniczym, przewodem iniekcyjnym i zbrojeniem konstrukcyjnym – jest sercem przesądającym nie tylko o sukcesie systemu, ale przede wszystkim o bezpieczeństwie konstrukcji. Niestety, jednocześnie to właśnie jakość zbrojenia (żerdzi stalowych) wpływa w głównej mierze na koszt systemu, co w oczywisty sposób wykorzystywane jest przez producentów i wykonawców różnych typów mikropali i gwoździ samowierzących jako pole do walki rynkowej. Ponieważ ma to odbicie w ogromnym zróżnicowaniu cenowym i jakościowym różnych rozwiązań – mimo ich pozornego podobieństwa – konieczne wydaje się zebranie i jasne określenie warunków stosowania mikropali

i gwoździ gruntowych, w szczególności samowierzących, co pomoże ustrzec projektantów przed błędami formalnymi. W dalszej części skrótowo opisane zostały wymogi odnośnie zbrojenia, zawarte w obowiązujących unormowaniach polskich i europejskich, które w omawianej kwestii przedstawiają identyczne zapisy.

3. Wymagania materiałowe dla zbrojenia trwałych mikropali i gwoździ gruntowych

Jak wspomniano, wymagania materiałowe co do zbrojenia mikropali i gwoździ gruntowych zawarte są w normach PN-EN 14199:2015-07 w punkcie 6.2.1 i PN-EN 14490:2010 w punkcie 6.2.2.2.

Normy te zgodnie określają warunek, że jako zbrojenie dopuszcza się jedynie **stal konstrukcyjną**, która dodatkowo musi spełniać szereg wymagań, stąd klarowny rozdział możliwych do zastosowania rodzajów zbrojenia i odpowiadających im norm regulujących te wymagania:

- Zbrojenie z prętów pełnych musi spełniać wymagania według PN-EN 10080 *Stal do zbrojenia betonu – Spajalna stal zbrojeniowa – Postanowienia ogólne dla zbrojenia z prętów pełnych*. Norma obejmuje stale, których skład chemiczny i równoważnik węgla CEV, określony zgodnie z wytycznymi w punkcie 7.1.3, nie przekraczają wartości podanych w tabeli 2 przedmiotowej normy (CEV max. 0,50 według analizy wytopowej);
- Zbrojenie żerdziami rurowymi (systemy samowierzące) musi spełniać wymagania norm PN-EN 10210 *Kształtowniki zamknięte wykonane na gorąco ze stali konstrukcyjnych niestopowych i drobnoziarnistych* lub PN-EN 10219 *Kształtowniki zamknięte ze szwem wykonane na zimno ze stali konstrukcyjnych niestopowych i drobnoziarnistych*. Normy obejmują stale niestopowe jakościowe: S235JRH, S275JOH, S275J2H, S355JOH, S355J2H; stale drobnoziarniste: S275NH, S275NLH, S355NH, S355NLH, S460NH, S460NLH;
- Zbrojenie z kształtowników walcowanych na gorąco (np. dwuteowniki szerokostopowe H) musi spełniać wymagania normy PN-EN 10025 *Wyroby walcowane na gorąco ze stali konstrukcyjnych*. Stale gatunków: S235, S275, S355, E295, E335 i E360.

Zapisy normowe nie dopuszczają zatem stosowania elementów nośnych wykonywanych na podstawie innych norm, niewyszczególnionych bądź nieadekwatnych do rodzaju zbrojenia (o innym przeznaczeniu). Jednocześnie, mimo pozostawienia pozornej swobody w doborze typu zbrojenia i rodzaju stali, jednoznacznie wskazują rygorystyczne parametry – skład chemiczny, własności mechaniczne i własności technologiczne – opisane w wymienionych wyżej normach. Zgodnie z powyższymi normami, niedopuszczalne jest – niezależnie od typu zbrojenia – stosowanie elementów nośnych ze stali o przeznaczeniu innym niż konstrukcyjna, np. narzędziowych, jak 28Mn6, żeliwa, staliwa, stali nienormowych, np. GM600 itp.

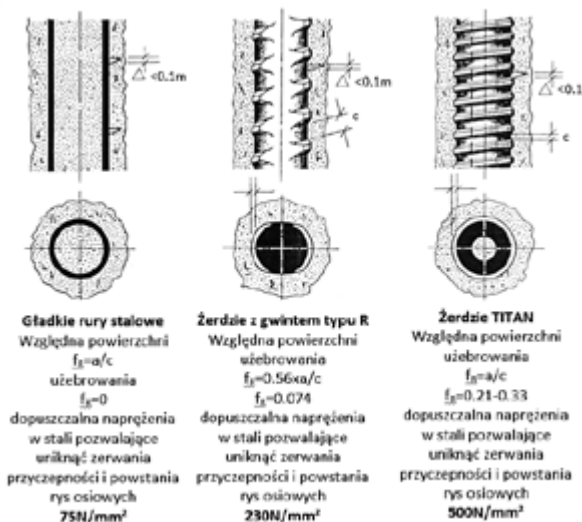
W dalszej części normy PN-EN 14490:2010 w punkcie 7.1.1 określono, że do projektowania konstrukcji pali betonowych należy stosować jako podstawową normę PN-EN 1992-1:2004 (Eurokod 2) *Projektowanie konstrukcji z betonu*, która narzuca dalsze restrykcyjne wymagania dla zbrojenia mikropali. Zebrane wymagania co do parametrów zbrojenia zbierają tabele C.1 i C.2 Eurokodu 2 (ryc. 1).

średnicy żerdzi. Jeżeli na powierzchni żerdzi pojawiają się rysy lub żerdź pęknie, ciągliwość nie jest wystarczająca. Metodykę opisano dokładnie w ASTM A 615 *Specyfikacja dla niskostopowych prętów żebrowanych i gładkich do zbrojenia betonu*.

3.4. Minimalna powierzchnia względna uźebrowania prętów

Głównym zadaniem zbrojenia mikropali i gwoździ gruntowych jest współpraca z kamieniem cementowym (trzonem iniekcijnym) oraz transfer obciążeń zewnętrznych na ośrodek gruntowy. Na sposób funkcjonowania tego zespolenia niewątpliwie ogromny wpływ ma rodzaj zastosowanego na żerdzi gwintu, a dokładnie – wartość powierzchni względnej uźebrowania f_R (ryc. 4). Wskaźnik ten zależy od zrzutowanej na oś zbrojenia powierzchni żeber i od średnicy pręta. Tak opisana charakterystyka powierzchni zbrojenia powinna zapewniać odpowiednią przyczepność betonu. Według załącznika C normy PN-EN 1992, minimalna wymagana wartość f_R wynosi 0,056 (dla zbrojenia o średnicy > 12 mm), która zapewnia, że wiązanie nie zostanie zerwane. Wynika też z tego bezpośrednio, że rury gładkie lub żerdzie z popularnym gwintem typu R (gwint falisty według normy ISO 10208, opracowany dla połączeń osprzętu wiertniczego) nie spełniają przedstawionych warunków.

Duża powierzchnia względna uźebrowania i odpowiedni rodzaj gwintu ma jeszcze jedną niebagatelną cechę – zapewnia szczelność kamienia cementowego przez ograniczenie rozwartości rys trzonu iniekcijnego do wartości 0,1 mm. Zgodnie z postanowieniami norm PN-EN 14490 i PN-EN 14199, ograniczenie rozwartości rys do podanej wartości granicznej umożliwia stosowanie w rozwiązaniach trwałych żerdzi bez dodatkowych zabezpieczeń antykorozyjnych, co w znacznym stopniu pozwala ograniczyć koszty. Fakt spełnienia tego kryterium powinien być potwierdzony wynikami badań. Samo badanie zaś należy przeprowadzać na próbach wykonywanych według standardowej procedury wykonawczej. Nie dopuszcza się zatem np. modyfikacji zaczynu iniekcijnego na potrzeby badań laboratoryjnych. Jednocześnie podkreślić należy, że stosowanie zbrojenia bez dodatkowych zabiegów ochrony antykorozyjnej (powłok specjalnych, nadatku przekroju itp.)



Ryc. 4. Rozwój technologii mikropali pod kątem zwiększenia przyczepności zbrojenia do kamienia cementowego

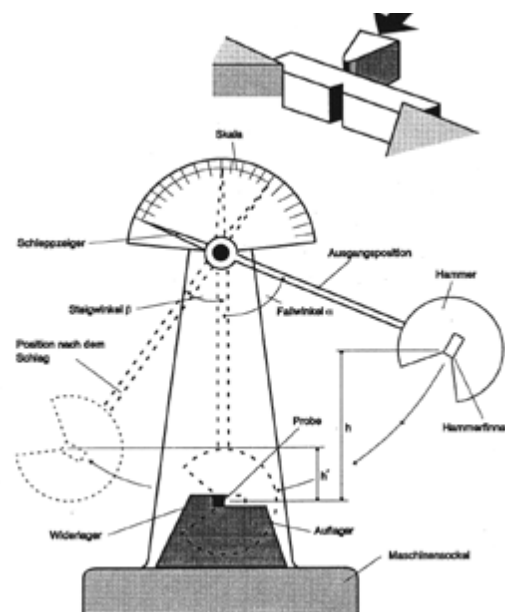
dopuszczalne jest jedynie przy spełnieniu powyższego warunku szczelności.

3.5. Badanie udarności młotem Charpy'ego (CVN)

Żerdzie stalowe w systemach samowiercących są wykorzystywane w pierwszej kolejności jako przewód wiertniczy, potem jako przewód iniekcyjny i dopiero w ostatnim etapie jako zbrojenie konstrukcyjne, pracujące – w zależności od zastosowania – na rozciąganie, ściskanie, ścinanie. Przeciężenie lub przedwczesne uszkodzenie żerdzi podczas wiercenia wyklucza możliwość użycia jej jako elementu nośnego, stąd należy unikać takich sytuacji. Pogodzenie właściwości odpowiednich dla narzędzia wiertniczego i zbrojenia jest kwestią wrażliwą, ale kluczową. Należy mieć absolutną pewność co do sposobu zachowania się materiału podczas fazy wiercenia i zdolności utrzymywania parametrów istotnych dla późniejszej, długoletniej pracy. Biorąc pod uwagę brak realnych możliwości sprawdzenia, czy po fazie wiercenia żerdź nie została osłabiona, tę pewność należy uzyskać z góry, opierając się na właściwym gatunku stali. Stosowanie żerdzi z gatunków stali nieobjętych normami (rozdz. 3), kierując się jedynie charakterystykami wytrzymałościowymi, jest więc obarczone ogromnym ryzykiem.

Zwykle narzędzia wiertnicze wykonywane są ze stali z wysokoplastycznego, uspokojonego, ciągliwego stopu chromowo-niklowego, tak by były zdolne oprzeć się niekorzystnym oddziaływaniom powstającym podczas wiercenia obrotowo-udarowego i skręcenia. Niestety, żerdzie rurowe do mikropali czy gwoździ gruntowych ze stali chromowo-niklowych byłyby zbyt kosztowne, a jednocześnie nie spełniałyby wymagań dla późniejszej funkcji zbrojenia.

By uniknąć szkodliwych efektów przecięcia żerdzi systemów samowiercących podczas prowadzenia wiercenia, do ich produkcji wykorzystywana jest wysokogatunkowa, niskowęglowa stal drobnoziarnista S460 NH, zgodna z PN-EN 10210. Materiał ten charakteryzuje się najwyższą możliwą



Ryc. 5. Schemat badania odporności na obciążenie dynamiczne metodą Charpy'ego

odpornością na obciążenie dynamiczne według testu Charpy'ego (ryc. 5) – powyżej 80 J w temperaturze -20 °C.

Dla porównania, inne konstrukcyjne stale drobnoziarniste według EN 10210, np. stal S355, wykazują się odpornością na obciążenia dynamiczne (Charpy) nie wyższą niż 27 J w temperaturze 27 °C i brakiem odporności w temperaturze -20 °C.

4. Podsumowanie

Systemy samowiercących mikropali i gwoździ gruntowych stały się powszechnym narzędziem wykorzystywanym do projektowania i realizacji fundamentów mikropalowych, fundamentów zespolonych, konstrukcji oporowych, ścian gwoździowanych itp. Konstrukcje te jako szczególnie odpowiedzialne i ekstremalnie kosztowne w naprawie należy projektować, bazując na dogłębnej znajomości warunków pracy w indywidualnych przypadkach oraz – co nie mniej ważne – wymogów formalnych. Należy zatem skrupulatnie stosować się do aktualnych zapisów prawnych – w tym przypadku Polskich Norm PN-EN 14199:2015-07 i PN-EN 14490:2010 w zakresie projektowania, warunków wykonywania i restrykcji materiałowych dotyczących elementów konstrukcyjnych (stal, iniekt lub beton). Zagadnienia te dla zbrojenia mikropali i gwoździ gruntowych zostały przedstawione wyżej. Z tej krótkiej charakterystyki wynika, że wymagania są dość rygorystyczne, ale dzięki jednoznacznemu ich opisowi dobór właściwego materiału jest stosunkowo prosty – wymaga jedynie spełnienia kilku warunków znanych z konstrukcji żelbetowych.

Do dyspozycji projektantów, wykonawców i inwestorów dostępnych jest wiele typów i systemów mikropali i gwoździ gruntowych, pozornie nieróżniących się od siebie i oferujących te same jakościowo rozwiązania. Żeby je jednak świadomie – i bez naruszenia zapisów normowych – stosować, należy porównać i sprawdzić ich parametry techniczne. Tylko w ten sposób możliwe jest zapewnienie poprawności, a co za tym idzie – bezpieczeństwa i trwałości rozwiązania technologicznego.

Warto wspomnieć, że wprowadzenie do obrotu wyrobu budowlanego (jakim są systemy samowiercące) odbywa się na podstawie szeregu dokumentów: Krajowej Aprobaty Technicznej, Krajowego Certyfikatu Zgodności, odpowiedniego dla przyznanego systemu oceny zgodności, oraz, wystawionej na podstawie tych dokumentów, Krajowej Deklaracji Zgodności.

Należy mieć jednak świadomość, że krajowe aprobaty techniczne mają jedynie charakter **dokumentu odniesienia**. Oznacza to, że w procesie aprobacyjnym **nie jest** badana zgodność wyrobu z przywołanymi normami przeznaczenia (w tym przypadku PN-EN 14199 i PN-EN 14490), jednostka wydająca aprobatę techniczną **nie weryfikuje** danych zawartych w aprobacie, a sama aprobata **nie jest potwierdzeniem**, że dany wyrób spełnia określone w jej treści wymagania i parametry techniczne (stanowisko Komisji Aprobatek Technicznych Instytutu Badawczego Dróg i Mostów z 27 kwietnia 2016 r.). Powszechna jest zatem obecnie sytuacja, w której wyrób otrzymuje aprobatę techniczną (ponieważ od strony technicznej spełnia wymagania określone przez producenta), a jednocześnie jest niezgodny z normami projektowymi i wykonawczymi z uwagi na gatunek stali, z którego wyrób jest wytworzony.

Choć może wydawać się to kuriozalne, zwłaszcza w odniesieniu do elementów konstrukcyjnych (zbrojenia), z treści nowo wydawanych aprobatek technicznych usunięto podstawową informację

Porównanie cech żerdzi do mikropali i gwoździ gruntowych można przeprowadzać według następującego klucza:

1. Typ zbrojenia i właściwy mu gatunek stali;
2. Granica plastyczności f_y żerdzi stalowej (w docelowym kształcie);
3. Siła zrywająca F_u żerdzi stalowej (w docelowym kształcie);
4. Wydłużenie względne (ciągliwość) A_{gt} żerdzi do zniszczenia bez redukcji przekroju poprzecznego;
5. Przekrój poprzeczny, obliczony z masy żerdzi na 1 m.b. długości;
6. Uzębrowanie (gwint) zwiększające przyczepność;
7. Badanie siły zrywającej dla dwóch połączonych odcinków żerdzi;
8. Odporność na obciążenie dynamiczne według testu Charpy'ego;
9. Atest hutniczy / analiza wytopowa;
10. Podstawa gwarancji zadeklarowanych parametrów technologicznych:
 - wyniki badań z niezależnych ośrodków badawczych, laboratoriów,
 - stała kontrola jakości,
 - system zarządzania jakością ISO 9001;
11. Trwałe widoczne oznakowanie komponentów systemu;
12. Ceny żerdzi stalowych: stale niskowęglowe (0,2% C, 1,5% Mn w gatunkach 28Mn6 i im podobnych) bez wymaganej ciągliwości po procesie walcowania są o ok. 20% tańsze niż żerdzie ze stali S460 NH.

o wyrobie, tj. gatunek stali, z którego wytwarzane jest zbrojenie. Ukrywanie informacji o gatunku stali jest dość specyficznym podejściem, niespotykanym raczej przy innego typu stalowych elementach konstrukcyjnych. W ten sposób aprobaty techniczne dopuszczają do stosowania wyrób bez ścisłego określenia jego właściwości, co pozwala wyłączyć odpowiedzialność jednostki aprobującej z tytułu stosowania wyrobów objętych aprobatami.

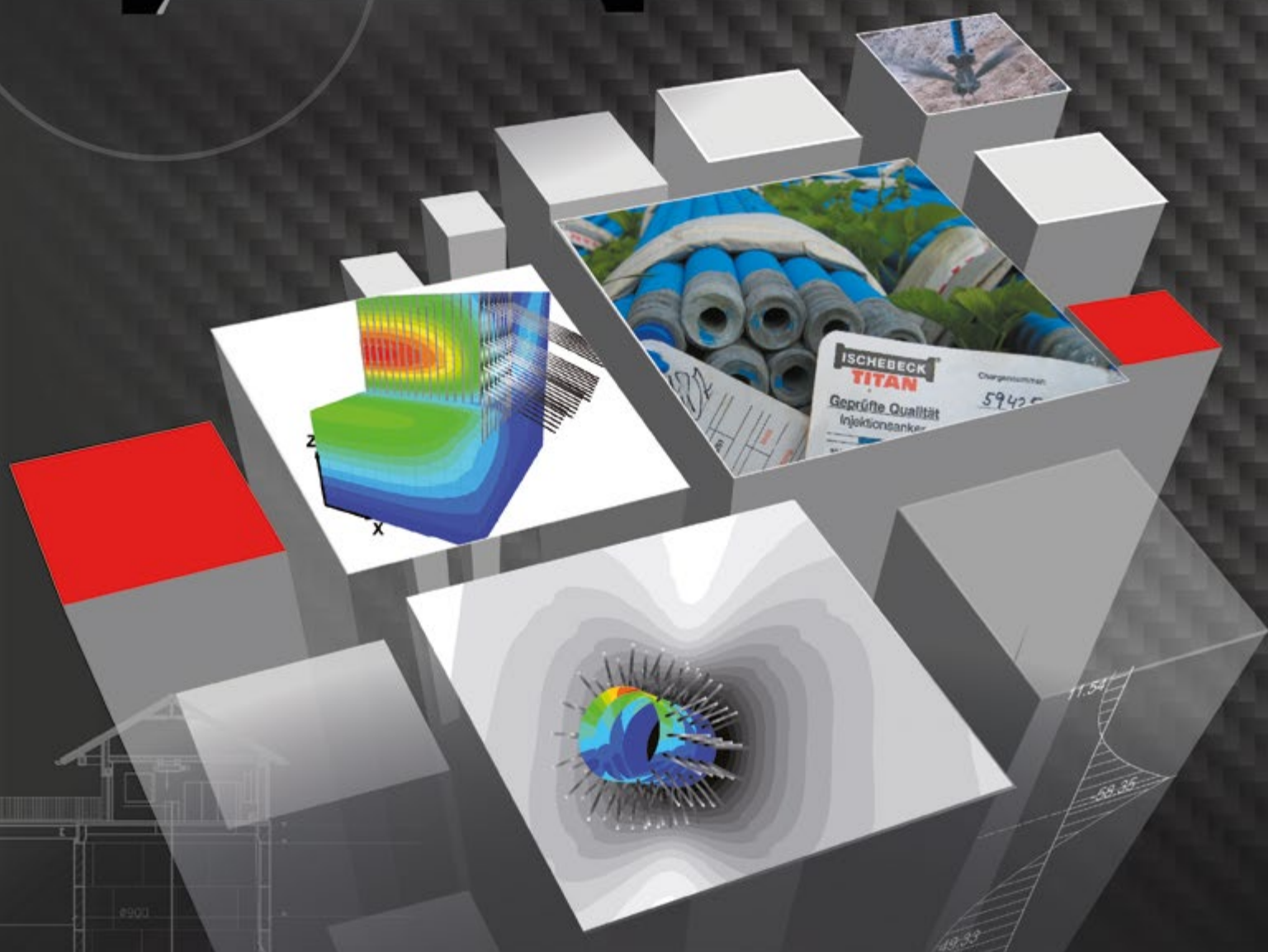
Należy zatem mieć pełną świadomość, że całkowita odpowiedzialność za zgodność rozwiązania od strony projektowej i materiałowej z uregulowaniami normowymi czy też zatwierdzenie materiału w kontrakcie spoczywa na użytkowniku aprobaty – projektancie, jednostkach nadzoru lub inwestorze. Biorąc pod uwagę obecny kształt aprobat, jest to zadanie wymagające dodatkowego zaangażowania, a przede wszystkim świadomości zagrożeń wynikających z proceduralnego braku przejrzystości na rynku tych wyrobów.

Podsumowując, należy stwierdzić, że dopiero pełna świadomość opisanych powyżej uwarunkowań i stosowanie ich w praktyce inżynierskiej daje możliwość bezpiecznego stosowania systemu samowiercącego.

Systemy samowiercące to niewątpliwa łatwość stosowania, stosunkowo duża odporność na niedoskonałości wykonawcze i prostota. Wszystko to decyduje o ich tak szerokich możliwościach i popularności. Prostoty nie należy jednak utożsamiać z ignorancją. Niestety, uwidacznia się ostatnio, wynikająca z nieświadomości bądź braku refleksji, tendencja do całkowitego uproszczenia tematu. Przedstawiony tekst ma stanowić pomoc w usystematyzowaniu wiedzy o założeniach i podstawach systemów samowiercących i ułatwić uniknięcie formalnoteknicznych pułapek.



TITAN POLSKA



TWOJA WIZJA NASZA TECHNOLOGIA

Technologie
dla
budownictwa

Biuro
inżynierskie

ul. Miłkowskiego 3/801
30-349 Kraków

tel.: +48 12 25 55 900
fax: +48 12 25 55 907

e-mail: biuro@titan.com.pl
www.titan.com.pl