

SAMOWIERCĄCE SYSTEMY INIEKCYJNYCH MIKROPALI I GWOŹDZI GRUNTOWYCH. WYMAGANIA TECHNICZNE I NORMOWE DLA ZBROJENIA DO ZASTOSOWAŃ TRWAŁYCH¹

Natalia Maca

TITAN POLSKA Sp. z o.o., ul. Miłkowskiego 3/801, 30-349 Kraków, natalia.maca@titan.com.pl

Jakub Sierant

TITAN POLSKA Sp. z o.o., ul. Miłkowskiego 3/801, 30-349 Kraków

***Streszczenie.** Systemy samowiercących mikropali i gwoździ gruntowych są powszechnie wykorzystywane do projektowania i realizacji fundamentów mikropalowych, konstrukcji oporowych, ścian gwoździowanych itp. Na rynku dostępnych jest wiele typów i systemów samowiercących pozornie nie różniących się od siebie i oferujących te same jakościowo rozwiązania. Żeby je świadomie stosować, należy porównać i sprawdzić ich parametry techniczne oraz zgodność z wymaganiami formalnymi. Proces projektowania, wykonania i kontroli takich konstrukcji określony jest w aktualne zapisach prawnych: w tym przypadku Polskie Norm PN-EN 14199:2015-07 i PN-EN 14490:2010. Normy te mają charakter wykonawczy, jednak – co ważne dla projektantów i jednostek nadzoru – zawierają szczegółowe wymagania, w tym materiałowe, co do stosowania mikropali i gwoździ gruntowych, m.in. wykonywanych w technologii wiercenia z jednoczesną iniekcją (system samowiercący). Szczególnie rygorystycznie opisane są wymogi w zakresie gatunki stali, jaki może stosowany jako zbrojenie mikropali lub gwoździ gruntowych oraz jego parametry mechaniczne. Jednocześnie wprowadzenie do obrotu systemów geotechnicznych, jak innych wyrobów budowlanych, odbywa się na podstawie m.in. Europejskiej Oceny Technicznej i Krajowej Oceny Technicznej. Jednak krajowe oceny techniczne mają charakter produktowy - oznacza to, że Proces certyfikacji dotyczy jedynie spełnienia parametrów technicznych podanych w ocenie technicznej. W procesie oceny technicznej nie jest badana zgodność wyrobu z normami przeznaczenia (np. PN-EN 14199 i PN-EN 14490). Możliwa jest zatem, że wyrób ma ocenę techniczną, ale jednocześnie jest niezgodny z normami projektowymi i wykonawczymi. Należy zatem mieć pełną świadomość jaki zapisy normowe regulują wymogi dla geotechnicznych systemów samowiercących, gdyż odpowiedzialność za zgodność rozwiązania od strony projektowej i materiałowej z uregulowaniami normowymi spoczywa na projektancie, jednostkach nadzoru lub inwestorze.*

***Słowa kluczowe:** systemy geotechniczne, stal, wymagania normowe, krajowe oceny techniczne*

1. Wstęp

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

¹ Wkład autorów w publikację: Maca N.: 50%, Sierant J.: 50%

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. 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 szereg uregulowań w zakresie mikropali i konstrukcji z gruntu gwoździowanego pojawił się już w 2005 roku (PN-EN 14199:2005 Wykonawstwo specjalnych robót geotechnicznych – Mikropale), nadal zauważalna jest duża uznaniowość przy ich projektowaniu.

I tak, o ile do konstrukcji naziemnych stosowane są materiały powszechnie uznane i opisane w normach, tak 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 prawnych/normowych.

Kwestia jest szczególnie istotna zwłaszcza 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 uzyskania odpowiedniego tempa wiercenia), trwały, aby żerdź poddawana w trakcie wiercenia dużym obciążeniom (skręcanie, obciążenia dynamiczne) nie została przeciążona lub uszkodzona i zachowując 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 oraz 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 odnoszących się do żerdzi samowiercących iniekcyjnych mikropali i gwoździ gruntowych, pozwalające 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, jak i pozostałych krajach członkowskich Unii Europejskiej, aspekty techniczne związane z mikropalami i gwoździami gruntowymi, zgodnie z Dyrektywą dot. 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 realizacji – zawierają szczegółowe wymagania, w tym materiałowe, co do stosowania mikropali i gwoździ gruntowych, m.in. wykonywanych w technologii wiercenia z jednoczesną iniekcją (system samowiercący). 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 aprobata 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 i promowały nowe pro-

dukty i technologie wśród projektantów, wykonawców i inwestorów, co zresztą znajduje odzwierciedlenie w aktualnych normach europejskich, w których wiele zapisów oparto właśnie 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;
- Soil Nail Walls Reference Manual FHWA-NHI-14-007, luty 2015;
- Hollow Core Soil Nails/State of the Practice FHWA-SA-97-070, kwiecień 2006;
- Micropile Design and Construction Reference Manual, FHWA NHI-05-039, grudzień 2005.

Niezależnie od miejsca opracowania, wyróżniającą cechą wspólną jest, 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 nieregulowana i nie jest przedmiotem dowolności. Spełnienie tych założeń jest szczególnie istotne w najpopularniejszych obecnie technologiach samowiercących, gdzie gwintowana żerdź stalowa – jako element będący jednocześnie przewodem wiertniczym, przewodem iniekcyjnym i zbrojeniem konstrukcyjnym – jest sercem przesądzającym 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 samowiercących jako pole do walki rynkowej. Ponieważ ma to odbicie w ogromnym zróżnicowaniu cenowym i jakościowym różnych rozwiązaniach – mimo ich pozornego podobieństwa – konieczne wydaje się zebranie i jasne określenie warunków stosowania mikropali i gwoździ gruntowych, w szczególności samowiercących, które 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. i PN-EN 14490:2010 w punkcie 6.2.2.2.

Normy te zgodnie określają warunek, iż 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 wg PN-EN 10080 „Stal do zbrojenia betonu – Spawalna stal zbrojeniowa – Postanowienia ogólne dla zbrojenia z prętów pełnych”; Norma obejmuje stale, których zawartość 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 wg analizy wytopowej);
- Zbrojenie żerdziami rurowymi (systemy samowiercące), musi spełniać wymagania wg 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 wg 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 np. 28Mn6, żeliwa, staliwa, stali nie-normowych 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 1992-1-1:2008 (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 (rys. 1).

EN 1992-1-1:2004+AC:2008

ZAŁĄCZNIK C (normatywny) Właściwości zbrojenia nadającego się do stosowania zgodnie z niniejszym Eurokodem

C.1 Postanowienia ogólne

(1) Właściwości zbrojenia nadającego się do stosowania zgodnie z niniejszym Eurokodem podano w Tabelicy C.1. Dane w tabelicy są właściwe dla zbrojenia w gotowej konstrukcji przy temperaturze zawartej od minus 40 °C do 100 °C. Wykonując na budowie gięcie i spajanie zbrojenia, należy przestrzegać innych ograniczeń zakresu temperatury według EN 13070.

Tabela C.1: Właściwości zbrojenia

Postać wyrobu	Pręty proste i rozwijane z kręgów			Siatki			Wymaganie lub wartość kwantyla (%)
	A	B	C	A	B	C	
Klasa	400 do 600						–
Charakterystyczna granica plastyczności f_{yk} lub $f_{yk,20}$ (MPa)	400 do 600						5,0
Skrajne wartości stosunku $k = (f_{yk}/f_{yk})_k$	$\geq 1,05$	$\geq 1,08$	$\geq 1,15$ < 1,35	$\geq 1,05$	$\geq 1,08$	$\geq 1,15$ < 1,35	10,0
Charakterystyczne odkształcenie przy maksymalnej sile, ϵ_{yk} (%)	$\geq 2,5$	$\geq 5,0$	$\geq 7,5$	$\geq 2,5$	$\geq 5,0$	$\geq 7,5$	10,0
Zdatność do gięcia	Badanie na zginanie i odginanie			–			–
Wytrzymałość na ścinanie	–			0,3 f_{yk} (4 jest polem powierzchni drutu)			Minimum
Maksymalne odchylenie od nominalnej masy (pojedynczy pręt lub drut) (%)	Nominalny wymiar pręta (mm) ≤ 8 > 8			$\pm 6,5$ $\pm 4,5$			5,0

Uwaga: Wartości zakresu naprężeń zmęczenia z górną granicą f_{yk} i minimalnej względnej powierzchni zebra do stosowania w kraju mogą być podane w Załączniku Krajowym. Wartości zalecane podano w Tabelicy C.2N. Wartość β do stosowania w kraju może być podana w Załączniku krajowym. Wartością zalecaną jest 0,6.

Tabela C.2N: Właściwości zbrojenia

Postać wyrobu	Pręty proste i rozwijane z kręgów			Siatki			Wymaganie lub wartość kwantyla (%)
	A	B	C	A	B	C	
Klasa	–						–
Zakres naprężenia zmęczenia (MPa) (dla $N > 2 \cdot 10^6$ cykli) z górną granicą f_{yk}	≥ 150			≥ 100			10,0
Przycepność: minimalne względne pole powierzchni zebra, $f_{z,rel}$	Nominalny wymiar pręta (mm) 5 + 6 6,5 + 12 > 12			0,035 0,040 0,056			5,0

Rys. 1. Zestawienie wymagań dla zbrojenia (wypis z EC2)

3.1. Granica plastyczności

Podstawową własnością materiałową opisującą jakość i możliwości zastosowania zbrojenia do mikropali czy gwoździ gruntowych jest jego wytrzymałość opisywana przez granicę plastyczności f_{yk} i wytrzymałość na rozciąganie f_{tk} . Zgodnie z EC 2 oraz PN-EN 14490:2010 punkt 6.2.2.2.1 granica plastyczności żerdzi stalowych do zbrojenia mikropali i gwoździ gruntowych ograniczona jest do przedziału $f_{yk} = 400\text{--}600$ MPa, co wynika z warunku zgodności odkształceń stali i kamienia cementowego, a odkształcenia kamienia cementowego nie mogą przekroczyć 0,3%. Podane wartości brzegowe określają granicę plastyczności końcowego produktu - dla żerdzi do zastosowań trwałych oznacza to $f_{yk} \leq 600$ MPa gotowego produktu (po formowaniu na zimno). Warunek ten wyklucza możliwość wykorzystania prętów ze stali wysokowytrzymałych, czyli o granicy plastyczności powyżej 600 MPa. Zbrojenie tego typu jest bardzo popularne w systemach kotwienia i stąd często „przeszczepiane” do pozornie zbliżonych zastosowań jako np. gwoździe gruntowe.

Granica plastyczności w przedziale $f_y = 400 - 600$ MPa, ze względu na zgodność odkształceń stali i betonu – odkształcenia kamienia cementowego ograniczone są do 0.003. Stale wysokowytrzymałe nie spełniają tego warunku.

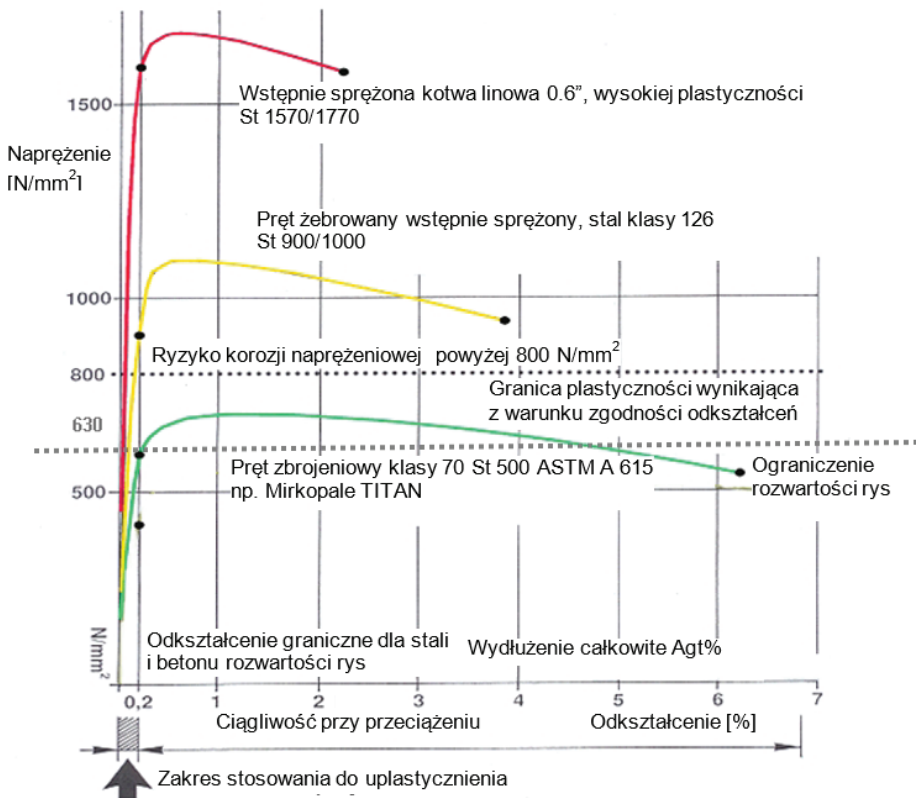
Ciągliwość – wymagane odkształcenia charakterystyczne przy maksymalnej sile $\epsilon_{yk} \geq 2.5$ lub 5%

Badanie na zginania i odginanie prosty sposób umożliwiający sprawdzenie ciągliwości na placu budowy

Przycepność i względna powierzchnia uezbrojenia $f_{R} > 0.56$

3.2. Ciągłość

Zgodnie z p. 3.2.4 PN-EN 1992-1-1 zbrojenie powinno się charakteryzować odpowiednią ciągliwością zdefiniowaną przez stosunek wytrzymałości na rozciąganie do granicy plastyczności (f_t/f_{yk}) i wydłużenie przy maksymalnej sile e_{uk} . Wartość ciągliwości oznacza przyrost odkształceń plastycznych elementu, bez naruszenia spójności materiału po przekroczeniu obciążenia odpowiadającego granicy plastyczności – bez dalszego wzrostu obciążenia – aż do momentu zniszczenia. Im ta wartość wyższa, tym większe bezpieczeństwo konstrukcji – bardziej widoczne są deformacje oznaczające przekroczenie założonych obciążeń i dłuższy margines czasowy, co pozwala na odpowiednią reakcję zapobiegającą katastrofie. Mała wartość oznacza nagłe zniszczenie elementu konstrukcji po przekroczeniu granicy plastyczności. Zagadnienie dobrze ilustruje wykres naprężenie-odkształcenie (rys. 2).

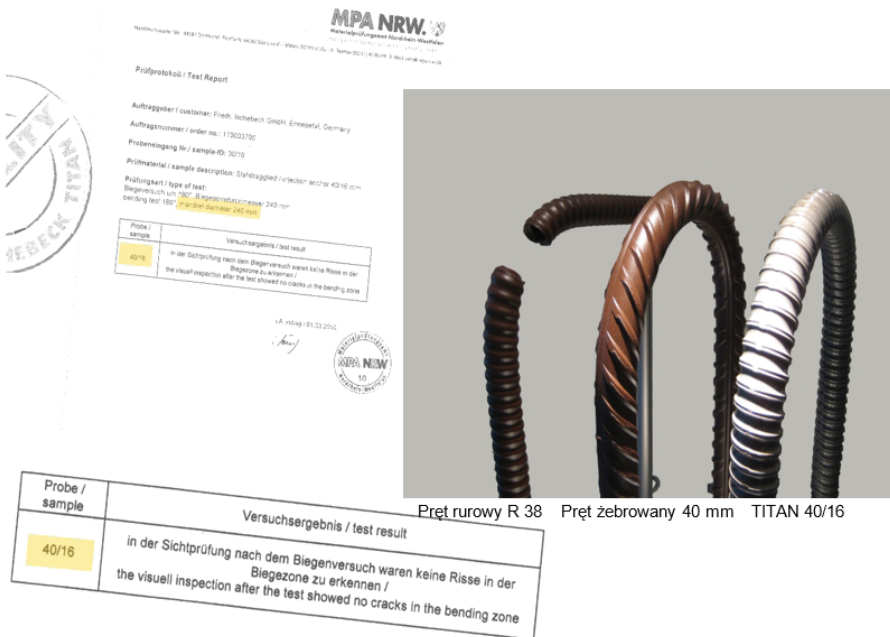


Rys. 2. Wykres naprężenie-odkształcenie dla typowych stali

W załączniku C PN-EN 1992-1-1, ze względu na ciągliwość, zbrojenie podzielone zostało na 3 klasy, którym przypisano wymóg minimalnego wydłużenia względnego przy zniszczeniu, odpowiednio A=2.5%, B=5.0% i C=7.5% oraz odpowiadające im progi wartości (f_t/f_{yk}). Normowe wymagania w tym zakresie dla

mikropali i gwoździ gruntowych określono jako minimalne wydłużenie elementu stalowego przy maksymalnej sile na poziomie 5%. Własności te określane są dla gotowego elementu (nie materiału), zatem muszą być potwierdzone we właściwym dokumencie, np. ocenie technicznej, niezależnie dla każdego typu elementu zbrojącego, co – jak potwierdza praktyka – jest często pomijane.

Sprawdzenie spełnienia warunku ciągłości przez żerdź rurową, choć w krajowych warunkach rzadko stosowane, może być również bardzo łatwo przeprowadzone na placu budowy przez wykonanie próby zginania i odginania, jak pokazano na rys. 3. Polega ona na zagięciu żerdzi o 180° (formując kształt U) wokół sworznia o średnicy równej sześciokrotności średnicy żerdzi. Jeżeli na powierzchni żerdzi pojawią się rysy lub żerdź pęknie, ciągłość nie jest wystarczająca. Metodękę opisano dokładnie w ASTM A 615 „Specyfikacja dla niskostopowych prętów zębrovaniych i gładkich do zbrojenia betonu”.



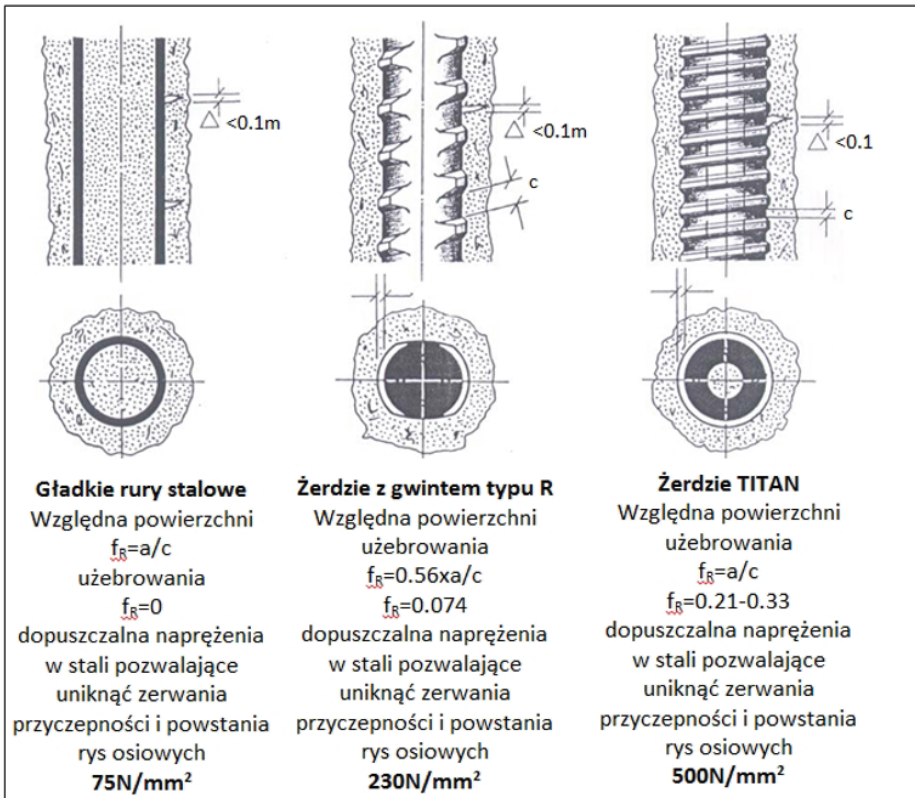
Rys. 3. Próba zginania

3.3. Minimalna powierzchnia względna uzębrowania 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 zespolewania niewątpliwie ogromny wpływ ma rodzaj zastosowanego na żerdzi gwintu, a dokładnie wartość powierzchni względnej uzębrowania f_R (rys. 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. We-

długość złącznika 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 wg 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 rozwarłości rys trzonu iniekcijnego do wartości 0.1 mm. Zgodnie z postanowieniami norm PN-EN 14490 i PN-EN 14199 ograniczenie rozwarłości 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 wg 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, nadkładu przekroju itp.) dopuszczalne jest jedynie przy spełnieniu powyższego warunku szczelności.



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

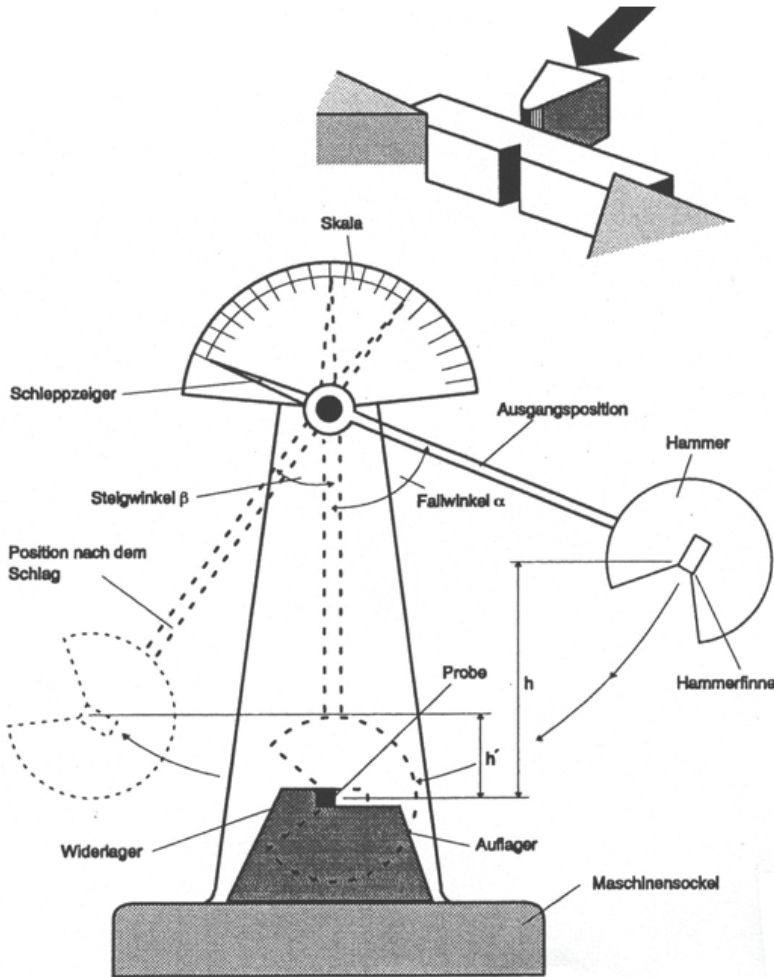
3.4. *Badanie udarności młotem Charpy'ego (CVN)*

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. Przeciążenie 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 zawczasu, opierając się na właściwym gatunku stali. Stosowanie żerdzi z gatunków stali nie objętych normami (rozd. 3), kierując się jedynie charakterystykami wytrzymałościowymi jest obciążone 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.

Aby uniknąć szkodliwych efektów przeciążenia 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 odpornością na obciążenie dynamiczne wg testu Charpy'ego (rys. 5) – powyżej 80 J w temperaturze 20°C.

Dla porównania, inne konstrukcyjne stale drobnoziarniste wg 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.



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

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 niemniej 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 nie różniących 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 niewątpliwie są systemy samowierzące) odbywa się na podstawie szeregu dokumentów: Europejskiej Oceny Technicznej i znaku CE lub Krajowej Oceny Technicznej i znaku budowlanego B oraz Deklaracji Właściwości Użytkowych. Parametry materiałowo-techniczne każdego rozwiązania określone są w ocenach technicznych, choć w przypadku systemów geotechnicznych bez podania gatunku stali. Należy mieć świadomość, iż krajowe oceny techniczne mają charakter **produktowy** - oznacza to, że Proces certyfikacji dotyczy jedynie spełnienia parametrów technicznych podanych w ocenie technicznej. W procesie oceny technicznej **nie jest** badana zgodność wyrobu z normami przeznaczenia (np. PN-EN 14199 i PN-EN 14490). Stąd niezwykle istotny jest punkt każdej aprobaty technicznej zatytułowany „Zamierzone zastosowanie wyrobu”, definiujący obszary stosowania wyrobu, normy wg których należy rozwiązanie z jego wykorzystaniem projektować (tu znajduje się zapis o uwzględnieniu wymagań Eurokodu 2) oraz normy, których wymagania musi spełniać gotowe rozwiązanie, np. mikropale muszą być zgodne z PNEN 14199. Możliwa jest zatem sytuacja, w której wyrób otrzymuje ocenę techniczną (ponieważ od strony technicznej spełnia wymagania określone przez producenta), a jednocześnie jest niezgodny z normami projektowymi i wykonawczymi. Należy zatem mieć pełną świadomość, że odpowiedzialność za zgodność rozwiązania od strony projektowej i materiałowej z uregulowaniami normowymi spoczywa na projektancie.

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

Systemy samowierzące to niewątpliwa łatwość stosowania, stosunkowo duża odporność na niedoskonałości wykonawcze i prostota. To wszystko, co decyduje o 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 formalno-technicznych pułapek.

„Nie wszystko złoto, co się świeci” - nie wszystko co wierci, to system samowiercący.

Porównanie cech żerdzi do mikropali i gwoździ gruntowych można przeprowadzać wg 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 1mb długości;
6. Uzębrowanie (gwint) zwiększający przyczepność;
7. Badanie siły zrywającej dla dwóch połączonych odcinków żerdzi;
8. Odporność na obciążenie dynamiczne wg testu Charpy'ego;
9. Atest hutniczy/analizy 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) bez wymaganej ciągliwości po procesie walcowania są ok. 20% tańsze niż żerdzie ze stali S460 NH.

Bibliografia

- [1] PN-EN 14199:2015-07. Wykonawstwo specjalnych robót geotechnicznych – Mikropale.
- [2] PN-EN 14490:2010. Wykonawstwo specjalnych robót geotechnicznych - Gwoździe gruntowe.
- [3] PN-EN 10080:2007. Stal do zbrojenia betonu -- Spawalna stal zbrojenio-wa - Postanowienia ogólne.
- [4] PN-EN 10210-1:200.7 Kształtowniki zamknięte wykonane na gorąco ze stali konstrukcyjnych niestopowych i drobnoziarnistych - Część 1: Warunki techniczne dostawy.
- [5] PN-EN 10219-1:2007. Kształtowniki zamknięte ze szwem wykonane na zimno ze stali konstrukcyjnych niestopowych i drobnoziarnistych - Część 1: Warunki techniczne dostawy;
- [6] PN-EN 1992-1-1:2008. Eurokod 2 -- Projektowanie konstrukcji z betonu - Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków.
- [7] Z-34.14-209. Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung. System TITAN zur Anwendung als Mikropfahl.

-
- [8] Hollow Bar Soil Nails (HBSN), Publication No. FHWA-CFL/TD-09-001, czerwiec 2009.
 - [9] Soil Nail Walls Reference Manual FHWA-NHI-14-007, luty 2015.
 - [10] Hollow Core Soil Nails/State of the Practice- FHWA-SA-97-070, kwiecień 2006.
 - [11] Micropile, Design and Construction Reference Manual, FHWA NHI-05-039, grudzień 2005.