

Dr hab. inż. Zbigniew Kledyński

Politechnika Warszawska

Dr inż. Edward Kon

Instytut Techniki Budowlanej

Ocena wodoszczelności betonu studium porównawcze norm polskich i europejskich

Evaluation of concrete permeability basing on water penetration depth assessment. Comparative study of Polish and European standards

1. Wprowadzenie

W roku 2002 wprowadzono normę PN-EN 12390 „Badania betonu” obejmującą metody badania betonu stwardniałego. Ósmy arkusz tej normy dotyczy badania przepuszczalności wody przez beton i nosi tytuł „Głębokość penetracji wody pod ciśnieniem”. Sposób przeprowadzenia badania jest w znacznej mierze podobny do stosowanego dotąd w Polsce, ale zmianie ulega sama wielkość kryterialna: nie określa się już liczby próbek przeciekających w serii próbek badanych, ale bada głębokość wniknięcia wody w beton. Towarzyszy tej zmianie rezygnacja ze stopniowania wodoszczelności betonu oraz przyjęcie w badaniu jednej wartości ciśnienia wody utrzymywanego przez ustalony czas trwania próby.

Ocena wodoszczelności betonu na podstawie pomiaru nową metodą nie jest powiązana z dotychczas stosowanymi przez projektantów wymaganiami. Dodatkową trudnością w stosowaniu nowej normy jest także brak kryteriów oceny wyników badania, a więc i formułowania wymagań odnośnie do wodoszczelności określonej nową metodą.

Przedmiotem artykułu są badania porównawcze szczelności betonu zdefiniowanej i badanej według PN-88/B-06250 "Beton zwykły" oraz według nowej normy PN-EN 12390-8 : 2001. Celem badań jest dostosowanie nowej metody do praktyki laboratoryjnej i próba znalezienia korelacji między dotychczas stosowaną oceną wodoszczelności betonu (stopnie wodoszczelności) i sposobem ich określania (kryterium przeciekania), a nowym kryterium (kryterium głębokości wniknięcia wody pod ciśnieniem) oraz uzyskanie wynikających z tej korelacji miar ilościowych wodoszczelności.

1. Introduction

In 2002 the PN-EN 12390 standard "Examination of concrete" for hardened concrete was authorized. The water permeability test is presented in chapter 8 of this standard titled "In this paper". The way of permeability penetration is very similar to that used previously in Poland but the criterion value has changed. Instead of the determination of the permeable samples number the depth of water penetration is measured. There is no gradation of water permeability in concrete; the only one water pressure value, constant throughout the measurement is taken into account.

The evaluation of concrete permeability on the basis of the measurements by this new method is not bound with the requirements of the design engineers. Application of this new standard is more difficult because there is no criteria for the results of tests evaluation. It means that there is no requirements dealing with the water permeability values as determined in terms of new standard.

The comparative studies of concrete tightness as defined and tested according to the Polish PN-88/B-06250 "Normal concrete", as well as to the new PN-EN 12390-8 : 2001 standard are the subject of this paper. The adaptation of new method to the laboratory practice and the attempt to find any correlation between the water tightness evaluation given as "water tightness degrees" and the way of their determination (permeability criterion) on one side and new criterion (consisting in the determination of the depth of water penetration) are the main goals of this paper. The authors aim also in producing the quantitative measure of water tightness as a result of correlations thus found.

2. Opis obu metod

2. 1. Badanie przepuszczalności wody przez beton według PN-EN 12390-8 Badania betonu. Część 8: Głębokość penetracji wody pod ciśnieniem

Sposób wykonania badania jest następujący: na powierzchnię stwardniałego betonu wywierane jest działanie wody pod ciśnieniem przez określony czas, a następnie po rozłupaniu próbki mierzona jest głębokość penetracji wody. Badanie wykonuje się na próbkach foremnych (np. sześciiany, walce lub prostopadłościanny o długości krawędzi lub średnicy nie mniejszej niż 15 cm). W praktyce jest to z reguły próbka sześcienna o długości krawędzi 15 cm.

Pole, na które działa woda powinno posiadać wymiar stanowiący około połowy długości krawędzi lub średnicy próbki. Zgodnie z normą jest to koło o średnicy 75 mm. Stosuje się stałe ciśnienie 500 ± 50 kPa przez 72 ± 2 godziny. Woda pod ciśnieniem działa na powierzchnię boczną próbki, nie wygładzoną w czasie formowania.

Badania wykonuje się na próbkach po ich pielęgnacji przez co najmniej 28-dni w wodzie. Norma nie podaje czy i jak próbki mają być suszone przed pomiarem. Wynikiem badania pojedynczej próbki jest wielkość maksymalnej głębokości penetracji, podawana z dokładnością do milimetra. Norma nie podaje na ilu próbkach powinno być wykonane oznaczenie oraz czy, w przypadku większej ilości próbek, przyjmuje się średnią wartość penetracji wody, czy najwyższą wartość maksymalną w serii.

2.2. Badanie przepuszczalności wody przez beton według PN-88/B-06250 Beton zwykły

Wycofana już norma krajowa - w ślad za ówczesnymi uregulowaniami branżowymi (BN-62/6738-05 i BN-62/6738-07) – wprowadzała pojęcie stopnia wodoszczelności jako miary ilościowej odporności materiału na przenikanie wody pod ciśnieniem. Stopień wodoszczelności został zdefiniowany jako „symbol literowo-liczbowy (np. W4) klasyfikujący beton pod względem przepuszczalności wody; liczba po literze W oznacza dziesięciokrotną wartość ciśnienia wody w MPa, działającego na próbki betonowe”.

Wymagania odnośnie do stopni wodoszczelności betonu ustalono w normie w zależności od wskaźnika ciśnienia i warunków działania wody, które podano w tablicy 1. Wskaźnik ciśnienia oblicza się jako stosunek wysokości słupa wody h w metrach do grubości przegrody d wyrażonej również w metrach.

Sposób badania wodoszczelności został opisany w punkcie 6.6 normy: „Badanie przepuszczalności wody przez beton”. Stosuje się próbki sześciennie o długości krawędzi 20 cm (próbka typu A) lub 15 cm (próbka typu B). Badanie przeprowadza się na próbkach sporządzonych w warunkach laboratoryjnych lub na próbkach pobieranych na budowie, przynajmniej raz w okresie betonowania, ale nie rzadziej niż raz na 5000 m^3 mieszanki. Dopuszcza się wykonanie badania na próbkach wyciętych z konstrukcji, przy czym wymiar takich próbek w kierunku działania parcia wody

2. Test procedures

2. 1. Water tightness in concrete determination according to PN-EN 12390-8 standard: Examination of concrete. Chapter 8: Water penetration depth under pressure

The procedure is as follows: the water under pressure thrusts the surface of concrete for a period of time; then the depth of water penetration is measured after splitting the sample. The test is performed on the regular samples (for example on cubes, cylinders or rectangular prisms with the edge not smaller than 15 cm). In practice there is a $15 \times 15 \times 15$ cm cube.

The limits of water thrust on the surface area should cover about a half of concrete sample edge length or diameter. The circle of 75 mm diameter is recommended in the standard. A constant water pressure 500 ± 50 kPa should be applied for 72 ± 2 hours. Water under pressure is imposed to the side surface of the sample, not smoothed on forming.

The tests are performed on the samples cured at least for 28 days in water. There is no indication in the standard, whether the samples should be dried before the test or not. The depth of maximum penetration depth given with the accuracy to 1 mm is the test result for every one sample. There is no indication in the standard as concerns to the number of samples; as well as in case of higher number of samples, about the mean or maximum value within the series to be accepted.

2. 2. Water permeability test for concrete according to the PN-88/B-06250 standard: Normal concrete

In the Polish standard still replaced by an European one, the so-called "degrees of water tightness", as a quantitative measure of material resistance for water permeability under pressure, were accepted, following the branch regulations (BN-62/6738-05 BN-62/6738-07). These degrees of water tightness were defined using the letter – number code (for example W4) and allowed to classify the concrete basing on their permeability; the number after "W" denoted the water pressure value multiplied for 10, as given in MPa.

The standard requirements for the degrees of water tightness were accepted in terms of water pressure factor and conditions of water thrust; they are given in Table 1. The water pressure factor is calculated as a column of water height h in meters to the membrane thickness d in meters ratio.

The procedure was given in chapter 6.6 of the standard: "Water permeability determination in concrete". The cubic samples with the edge of 20 cm (sample type A) or 15 cm (sample type B) are used. The tests are performed for the laboratory produced samples or for the samples collected in building site, at least one time

powinien być równy 15 cm, a wymiary poprzeczne powinny umożliwić dostęp wody do pola o średnicy 10 cm.

Badanie przeprowadza się na 6 próbkach, pochodzących z jednej partii betonu. Parciu wody poddaje się pole koła o średnicy 100 mm, oczyszczone z warstwy stwardniałego zaczynu cementowego. Boczne powierzchnie próbki i ta część górnej jej powierzchni, na którą nie jest wywierane parcie wody są pokrywane wodoszczelną powłoką, zazwyczaj z żywicy epoksydowej.

Parciu wody poddaje się powierzchnię boczną próbki, a więc nie powierzchnię wygładzoną w czasie formowania. Norma zawiera wymaganie dotyczące temperatury wody i otoczenia, która powinna wynosić $+18\pm 2^{\circ}\text{C}$.

Ciśnienie początkowe wody powinno wynosić 0,2 MPa i w trakcie próby jest co 24 godziny skokowo podwyższane o 0,2 MPa. Górna wartość ciśnienia zależy od celu badania. W typowym badaniu sprawdzającym, czy uzyskano zakładany stopień wodoszczelności ciśnienie wody jest podnoszone do wartości odpowiadającej sprawdzanemu stopniowi wodoszczelności i to ciśnienie końcowe jest również utrzymywane przez 24 godziny. W wariantcie badania, w którym chcemy określić maksymalny stopień wodoszczelności betonu ciśnienie będzie zwiększane do momentu wystąpienia w serii próbek liczby przecieków przekraczającej dopuszczalną wartość. W czasie badania obserwuje się czy na pozbawionej izolacji powierzchni próbki (przeciwległej do miejsca wtłaczania wody) nie występują przecieki wody. W badaniu sprawdzającym stopień wodoszczelności cel zostaje osiągnięty, gdy po przewidzianym dla danego stopnia zakresie zmian ciśnienia wody i czasów jego utrzymywania w badanej serii sześciu próbek nie ma więcej próbek przeciekających niż dwie. Gdy w trakcie badania wystąpi przeciek w trzeciej próbce, badanie przerywa się, a osiągnięty stopień odpowiada ciśnieniu o stopień niższemu, niż to, przy którym wystąpił przeciek w trzeciej próbce. To kryterium kończy również badanie, którego celem jest określenie maksymalnego stopnia wodoszczelności betonu. Różnica w obu podejściach jest taka, że sprawdzenie stopnia przerywa się zawsze po wyczerpaniu z góry znanego programu zmian ciśnienia (nawet, gdy przeciekających próbek nie będzie), a badanie stopnia zawsze musi się skończyć przeciekami w trzech próbkach, przy czym poszukiwaną wartością jest ciśnienie hydrauliczne, pod którym to nastąpi.

Rozłupanie próbek i oznaczenie głębokości wniknięcia wody jest w tej metodzie jedynie oceną pomocniczą szczelności próbek i wartości głębokości penetracji wody nie są interpretowane, ani też nie przypisuje się im jakichś odpowiedników związanych ze szczelnością betonu. Kontrolny pomiar głębokości penetracji wody służy jedynie do orientacyjnej oceny jej jednorodności w badanej serii próbek.

Tablica 1 / Table 1

WYMAGANE STOPNIE WODOSZCZELNOŚCI BETONU W ZALEŻNOŚCI OD WSKAŹNIKA CIŚNIENIA I WARUNKÓW DZIAŁANIA WODY [PN-88/B-06250]

THE REQUIRED DEGREES OF WATER TIGHTNESS FOR CONCRETE AS A FUNCTION OF PRESSURE FACTOR AND WATER THRUST CONDITIONS [PN-88/B-06250]

Wskaźnik ciśnienia Pressure factor h/d	Stopień wodoszczelności betonu przy jednostronnym parciu wody Degree of water tightness for concrete at one side water thrust	
	Stałym Continuous	Okresowym Periodical
0,5 – 5	W2	W2
6 – 10	W4	W2
11 – 15	W6	W4
16 – 20	W8	W6
21 – 40	W10	W8
ponad 40 over 40	W12	W10

ples or for the samples collected in building site, at least one time during the concreting and one sample for every 5000 m³ of concrete mixture. The tests on the samples pull out of construction are admissible but the size of the samples subjected to the pressure of water should be 15 cm; the side part dimensions should give the access of water to the area with 10 cm diameter.

The test is performed on the 6 samples, collected from one batch of concrete mixture. The circular area with the diameter of 100 mm, cleaned to remove the hardened cement paste, is subjected to the water pressure. The side walls and the upper surface outside the water thrust are covered with waterproof material; it is usually the epoxy resin.

The side surface of concrete sample should be subjected to the water pressure but not that one smoothed during forming. There are other requirements in the standard, relating to the temperature of water and in the laboratory; it should be kept on the level $+18\pm 2^{\circ}\text{C}$.

The initial water pressure should be 0.2 MPa and during the measurement it should increase throughout 24 hours, with 0.2 MPa step. The upper limit depends on the aim of the test. In typical testing to control the assumed degree of water tightness, the pressure of water rises to the value corresponding to this degree; this final value is kept constant within 24 hours. In the test performed to find the maximum water tightness degree, the pressure is raised up until the sufficient number of leaks appears in the series of samples. For this purpose the occurrence of leaks on the surface without insulation, opposite to the surface pressured with water, is observed. In the water tightness control tests the positive result is attained when there is no more than 2 leaking samples for 6 tested ones. When there is a leak in the third sample, the test is stopped and the degree is the same as attributed to a pressure one step lower. This criterion relates also to the test aimed with the maximum degree of water tightness determination. Therefore the control of water tightness degree is stopped when the assumed pressure is attained (even when there is no leaks) while the testing of maximum value must be continued until the leak in the

3. Porównanie metod badań

Badania przepuszczalności wody przez beton według dotychczasowej krajowej normy betonowej i wprowadzanej normy europejskiej PN-EN 12390-8 oparte są w istocie rzeczy na jednakowej zasadzie, tj. wtlaczaniu do próbki betonu wody pod ciśnieniem i obserwacji głębokości jej wnikania, przy czym norma polska przyjmuje jako wynik osiągnięcie głębokości równej grubości próbki, a norma europejska poprzestaje na pomiarze głębokości penetracji wody jako zmiennej ciągłej. O ile w pierwszym przypadku mamy do czynienia ze zmienną losową dyskretną przyjmującą jedną z dwóch wartości (przeciek lub brak przecieku), o tyle w drugim - ze zmienną losową ciągłą o wartościach z przedziału: zero - grubość próbki. Z pracy Kledyńskiego (3) wynika, że opisy te można zintegrować w tak zwanej zmiennej losowej mieszanej, co ma szczególne znaczenie w ocenie badanej populacji próbek betonu, gdy część próbek przecieknie, a część nie.

Pomimo zasadniczej analogii pomiędzy porównywanymi metodami występują ważne praktycznie różnice, dotyczące umownych warunków badań. Zestawiono je w tablicy 2.

Z porównania metod przedstawionego w tablicy 2 widać, że wyniki oznaczeń uzyskane jedną lub drugą metodą są trudne do porównania. Oznacza to, że teoretyczne próby korelacji wyników badań uzyskanych obiema metodami wymagają także empirycznego sprawdzenia, chociażby ze względu na różnice umownych, arbitralnie przyjętych warunków prowadzenia pomiarów.

3.1. Związek między głębokością penetracji wody w beton a jego obciążeniem hydraulicznym

Jeśli pominąć techniczne różnice w metodach badania wodoszczelności według analizowanych norm (na przykład izolowanie próbek lub nie, powierzchnie pola dostępu wody i tym podobne) i ograniczyć się do różnic najważniejszych, to należy do nich zakres zmian ciśnienia wody. W badaniu według PN-88/B-06250 to właśnie ciśnienie różnicuje badane betony, podczas gdy w badaniu według PN-EN 12390-8 różnice w szczelności betonów określone są jako różne głębokości penetracji wody wtlaczanej pod stałym ciśnieniem wywieranym w określonym czasie.

Poszukując związków między wynikami badań przeprowadzonych dwoma metodami trzeba wyznaczyć zależność między głębokością penetracji wody a ciśnieniem

third sample; the value of hydraulic pressure is to be determined - this is the difference between these two approaches.

Splitting of the samples and depth of water penetration determination is only an additional auxiliary method of water permeability determination and this penetration depth is neither analyzed in terms of water tightness in concrete nor are the other indices (characterizing the water tightness in concrete) attributed to them. The control test for water penetration depth gives only a rough estimation of homogeneity of samples in the series.

3. Comparison of these methods

The water permeability tests according to the Polish standard and Polish - European standard PN-EN 12390-8 are basically consisted in forcing of water into the concrete sample and observation of the depth of water penetration. In the Polish standard the final result - measured value of water pressure corresponds to the penetration throughout the thickness of the sample. In the European standard the penetration is measured as a continuous variable. In this former case we have a random discrete variable of the two values (leak or no leak), while in the latter one - with random continuous discrete variable within the range from zero to the thickness of the sample. As it has been shown by Kledyński (3), these approaches can be complied with the so-called random variable mixed, as it is of special importance for the evaluation of population of concrete samples, when a part of them leaks and the rest do not.

In spite of basic analogy, there are substantial practical differences between these two methods, as the conditions of testing are

Tablica 2 / Table 2

ZESTAWIENIE WYBRANYCH RÓŻNIC W BADANIU WODOSZCZELNOŚCI BETONU WEDŁUG PN-88/B-06250 I PN-EN 12390-8

SOME DIFFERENCES BETWEEN THE TESTS OF CONCRETE WATER TIGHTNESS DETERMINATION ACCORDING TO PN-88/B-06250 AND PN-EN 12390-8

Warunki Conditions	Norma Standard PN-88/B-06250	Norma Standard PN-EN 12390-8
Pole penetracji wody Penetrated surface	Koło Ø 100 mm Circle Ø 100 mm	Koło Ø 75 mm Circle Ø 75 mm
Powierzchnia pola penetracji Area of penetration	78,5 cm ²	44,2 cm ²
Ciśnienie wody Water pressure	Zmienne, rosnące od 0,2 do 1,2 MPa lub wyżej Variable, increasing from 0,2 to 1,2 MPa or higher	Stale 0,5 MPa Constant 0,5 MPa
Stan fizyczny próbki Sample characteristics	Powietrzno-sucha Boki próbki izolowane Air-dried Side walls insulated	Wilgotna Boki próbki nie izolowane Wet Side walls non-insulated
Parametr oceniany Testing parameter	Czy próbka, pod maksymalnym ciśnieniem, przesiąknie na całej wysokości Is all the sample, throughout its thickness permeable or not at maximum pressure ?	Głębokość penetracji Depth of penetration

jej włączania, a w ogólniejszym przypadku zmianami ciśnienia wody w trakcie próby, to znaczy pomiędzy głębokością penetracji wody a przebiegiem zmian ciśnienia hydraulicznego wywieranego na próbkę.

Z teoretycznej analizy tego zagadnienia wynika, że możliwe są co najmniej dwa podejścia. Jedno z nich za punkt wyjścia przyjmuje zależność zaproponowaną przez Muratę (5) i Valentę (11) oraz stosowaną w badaniach Śliwińskiego (9, 10):

$$k_v = \frac{x_{\max}^2}{n \cdot 2 \sum_{i=1}^n h_i t_i} \quad [1],$$

gdzie: k_v – współczynnik prędkości przepływu, m/s,

x_{\max} – maksymalna głębokość penetracji wody, m,

h_i – ciśnienie wody, m H₂O,

t_i – czas utrzymywania ciśnienia h_i , s.

Jeśli przyjąć, że współczynnik prędkości przepływu stanowi charakterystykę materiałową badanego betonu (charakterystykę struktury porowatości), a analizowane metody badania wodoszczelności są sposobami jej wyznaczenia, to przyrównując wartości k_v wyznaczone na podstawie obu metod normowych dojdziemy do zależności opisującej korelację pomiędzy maksymalną głębokością penetracji wilgoci do próbki betonu w próbie według PN-EN 12390-8, a maksymalną głębokością penetracji wody w próbie podanej w PN-88/B-06250. Związek ten ma postać liniową:

$$X_{EN} = \alpha X_{PN} \quad [2],$$

Równocześnie wartość współczynnika proporcjonalności α , wobec ustalonych wartości ciśnienia i czasu jego utrzymywania w metodzie podanej w PN-EN 12390-8, zależy już tylko od przebiegu zmian ciśnienia w próbie opisanej w PN-88/B-06250, czyli od stopnia wodoszczelności. Wartości współczynnika α podano w tablicy 3.

Drugie podejście do analizy porównawczej wyników badań wodoszczelności betonu metodami opisanymi w omawianych normach opiera się na modelu ciała kapilarno-porowatego i matematycznym opisie procesu jego nasycania (3).

W modelu tym przyjęto, że porowatość betonu jest scharakteryzowana – w związku z próbą wodoszczelności – długością l_0 i promieniem r kapilary przelotowej, przez którą woda pod ciśnieniem

concerned. They are listed in Table 2.

As one can conclude from the data presented in Table 2, the comparison of results produced using these two methods is difficult. It means that the theoretical efforts of correlation of the data produced using these methods require also the empirical verification. It is worthwhile, as the difference between the arbitrarily accepted conditions of tests is taken into account.

3.1. A relation between the depth of water penetration and hydraulic loading of concrete

As the technical differences between the testing methods according to these two standards are neglected (for example insulation, surface area of water thrust and other details) and the most important parameters are discussed - the range of water pressure value must be taken into account. According to PN-88/B-06250 - the value of pressure differentiates the samples, while according to PN-EN 12390-8 the differences in tightness are defined as different of water depth when water is forced under the constant pressure for a given period of time.

Looking for the relationship between these two methods one should find a formula for depth of water penetration as a function of water pressure; in more general case – between the depth and the range of changes of water pressure during the test.

From theoretical analysis of this problem at least two approaches are possible. One of them takes, as a starting point, a relationship proposed by Murata (5) and Valenta (11), as well as applied in the studies by Śliwiński (9, 10):

$$k_v = \frac{x_{\max}^2}{n \cdot 2 \sum_{i=1}^n h_i t_i} \quad [1],$$

where: k_v – flow rate coefficient, m/s,

x_{\max} – maximum water depth penetration, m,

h_i – water pressure, m H₂O,

t_i – period of time at constant pressure value h_i , s.

Assuming that the flow rate coefficient is a material feature of concrete (pore structure characteristics), and the analyzed methods of water tightness measuring are the ways of its determination,

further on the equilibrating of the k_v values, produced using these standard methods allow to find the relationship, the correlation between the maximum depth according to PN-EN 12390-8, and the one according to PN-88/B-06250 will be found. This is of linear character:

$$X_{EN} = \alpha X_{PN} \quad [2],$$

Tablica 3 / Table 3

WSPÓŁCZYNNIK α W FUNKCJI STOPNIA WODOSZCZELNOŚCI BETONU
COEFFICIENT α AS A FUNCTION OF WATER TIGHTNESS

Stopień wodoszczelności Degree of water tightness	W 2	W 4	W 6	W 8	W 10	W 12	W 14
Współczynnik α Coefficient α	2,739	1,581	1,118	0,866	0,707	0,598	0,518

przepłyńie w tym samym czasie, jak przez rzeczywisty układ porów o różnych promieniach i długościach. Równanie opisujące proces napełniania takiej kapilary wodą ma postać:

$$\frac{\eta_c - \eta_g}{2} l_c^2 + \eta_g l_c l_0 = \frac{r^2 (p_k + \Delta p)}{8} t \quad [3]$$

gdzie: l_c – napełniony wodą odcinek kapilary, m,

l_0 – całkowita długość kapilary, m,

r – promień kapilary, m,

η_c – dynamiczny współczynnik lepkości wody, Ns/m²,

η_g – dynamiczny współczynnik lepkości powietrza, Ns/m²,

Δp – ciśnienie wtłaczania wody, N/m²,

t – czas napełniania kapilary, s,

p_k – ciśnienie kapilarne, N/m².

Wartość ciśnienia kapilarnego można obliczyć ze wzoru:

$$p_k = \frac{2\sigma \cos \theta}{r}, \quad [4]$$

gdzie: σ – napięcie powierzchniowe wody, N/m,

θ – kąt zwilżania [rad].

Po czasie Δt (na przykład jedna doba) utrzymywania nadciśnienia Δp (np. 0,2 MPa) długość napełnionego wodą odcinka kapilary wyniesie (dla uproszczenia pominięto lepkość powietrza, to jest $\eta_g = 0$):

$$l_c = \sqrt{\frac{r^2 (p_k + \Delta p)}{4\eta_c} \Delta t} \quad [5]$$

Na rysunku 1 pokazano rodzinę krzywych $l_c(t)$ opisujących napełnianie kapilary o promieniu 0,1 μm przy zróżnicowanych co do wartości – skokowo rosnących – ciśnieniach wtłaczania wody. Linia grubą ciągłą oznaczono ścieżkę badania wodoszczelności według PN-88/B-06250, przy czym odcinki pionowe nie oznaczają wzrostu głębokości zawilgocenia, ale zmianę charakterystyki nasycania wywołaną zmianą ciśnienia.

Z rysunku 1 wynika, że głębokość penetracji wody X_{PN} w próbce badanej metodą podaną w PN-88/B-06250 może być opisana zależnością:

$$X_{PN} = \sum_{i=1}^n \left(\sqrt{\frac{r^2 (p_k + n\Delta p)}{4\eta_c} n\Delta t} - \sqrt{\frac{r^2 (p_k + n\Delta p)}{4\eta_c} (n-1)\Delta t} \right) \quad [6]$$

Stosując równanie [5] do wyrażenia głębokości X_{EN} penetracji wody w próbce badanej metodą podaną w PN-EN 12390-8 – przy założeniu, że czas nasycania próbki i ciśnienie wtłaczania węg wody mogą być wyrażone jako wielokrotności wielkości wykorzystanych w równaniu [6], odpowiednio Dt oraz Dp – dochodzimy do zależności:

$$X_{EN} = \sqrt{\frac{r^2 (p_k + 2,5\Delta p)}{4\eta_c} 3\Delta t} \quad [7]$$

Simultaneously, the linear coefficient α , in the light of assumed pressure values and the time when the pressure is kept constant in the procedure given by PN-EN 12390-8, is dependent only upon the course of pressure changes, as given in PN-88/B-06250, it means upon the degree of water tightness. The values of α coefficient are given in Table 3.

The second approach to the comparative analysis of water tightness results by these two methods is based on the model of the capillary porosity body and the mathematical model of its saturation with water (3).

In this model it has been assumed that the porosity is characterized - for the tightness test - by the length l_0 and radius r of opened capillary; through this capillary the water under pressure will flow at the same time as through the real pore system (pores with different lengths and diameters). The equation describing the filling of this capillary with water is as follows:

$$\frac{\eta_c - \eta_g}{2} l_c^2 + \eta_g l_c l_0 = \frac{r^2 (p_k + \Delta p)}{8} t \quad [3]$$

where: l_c – the capillary interval filled with water, m,

l_0 – total capillary length, m,

r – capillary radius, m,

η_c – dynamical viscosity coefficient of water, Ns/m²,

η_g – dynamical viscosity coefficient of air, Ns/m²,

Δp – pressure of forced water, N/m²,

t – time of capillary filling, s,

p_k – capillary pressure, N/m².

The capillary pressure value can be calculated from the equation:

$$p_k = \frac{2\sigma \cos \theta}{r}, \quad [4]$$

where: σ – surface tension of water, N/m,

θ – angle of wetting [rad].

After a period of time Δt (for example 24 hours) at constant overpressure Δp (0,2 MPa) the length of capillary interval filled with water will be (viscosity of air neglected, $\eta_g = 0$):

$$l_c = \sqrt{\frac{r^2 (p_k + \Delta p)}{4\eta_c} \Delta t} \quad [5]$$

In figure 1 a set of curves $l_c(t)$ illustrating the filling of capillary with radius 0,1 μm at different forced water pressures (growing step by step) is plotted. The thick continuous line traces the water tightness determination according to the PN-88/B-06250 standard; the vertical intervals do not mean the penetration depth increase but the change of saturation characteristics, involved with changes of pressure.

As one can see in Figure 1, the depth of water penetration X_{PN} in the sample tested following the method given in PN-88/B-06250 standard can be described by the equation:

Po wprowadzeniu współczynnika β , analogicznego do współczynnika α w równaniu [2], dotyczącego modelu nasycania ciała kapilarno-porowatego, po serii podstawień i przekształceń dochodzimy do wzoru:

$$\beta = \frac{X_{EN}}{X_{PN}} = \frac{\sqrt{3(2\sigma \cos \theta + 2,5r\Delta p)}}{\sum_{i=1}^n \sqrt{2\sigma \cos \theta + i r \Delta p} (\sqrt{i} - \sqrt{i-1})} \quad [8]$$

Jeśli badanie odbywa się w ustalonej temperaturze, to można uznać, że właściwości cieczy są stałe. Niech $\sigma = 0,0729 \text{ N/m}^2$, a $\cos \theta = 1$. Wówczas dla $\Delta p = 0,2 \text{ MPa}$ wzór [8] przyjmie postać:

$$\beta = \frac{\sqrt{0,4374 + 1500000 r}}{\sum_{i=1}^n \sqrt{0,1458 + 200000 i r} (\sqrt{i} - \sqrt{i-1})} \quad [9]$$

$$X_{PN} = \sum_{i=1}^n \left(\sqrt{\frac{r^2(p_k + n\Delta p)}{4\eta_c}} n\Delta t - \sqrt{\frac{r^2(p_k + n\Delta p)}{4\eta_c}} (n-1)\Delta t \right) \quad [6]$$

Applying the equation [5] for calculation of water depth penetration X_{EN} in the sample tested following the method given in PN-EN 12390-8 standard – under the assumption that the time of saturation and the pressure of forcing water can given as multiple of values applied in equation [6], Δt and Δp respectively – we get the relationship:

$$X_{EN} = \sqrt{\frac{r^2(p_k + 2,5\Delta p)}{4\eta_c}} 3\Delta t \quad [7]$$

When the coefficient β , analogous to α in equation [2], dealing with the model of capillary porosity body saturation is introduced, after the series of replacements and transformations we go to the equation:

$$\beta = \frac{X_{EN}}{X_{PN}} = \frac{\sqrt{3(2\sigma \cos \theta + 2,5r\Delta p)}}{\sum_{i=1}^n \sqrt{2\sigma \cos \theta + i r \Delta p} (\sqrt{i} - \sqrt{i-1})} \quad [8]$$

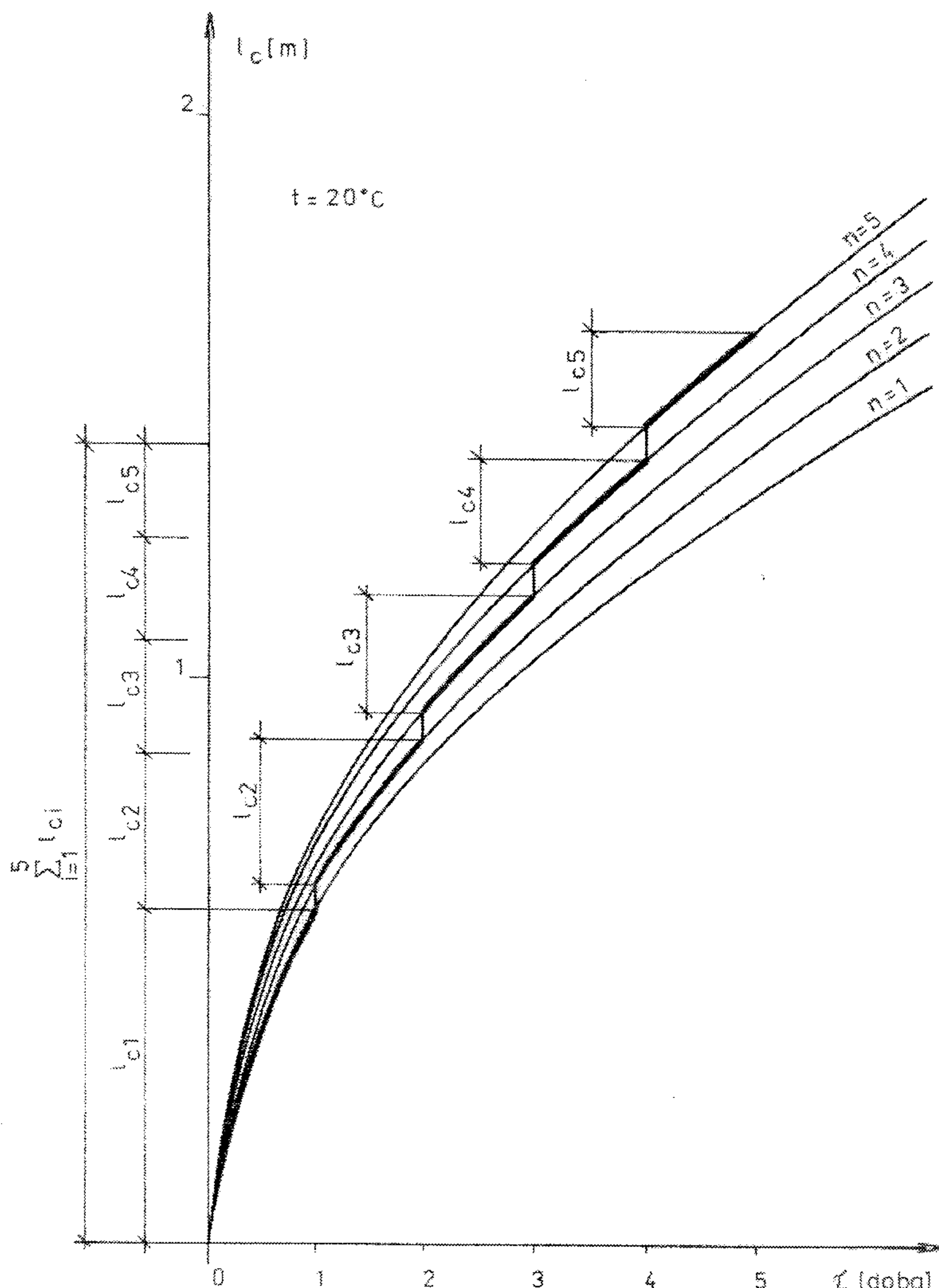
When the testing is performed at given temperature, it can be assumed that the properties of liquid phase are constant. Let us take the values $\sigma = 0,0729 \text{ N/m}^2$, and $\cos \theta = 1$. Then for the $\Delta p = 0,2 \text{ MPa}$ the equation [8] will be as follows:

$$\beta = \frac{\sqrt{0,4374 + 1500000 r}}{\sum_{i=1}^n \sqrt{0,1458 + 200000 i r} (\sqrt{i} - \sqrt{i-1})} \quad [9]$$

From the analysis of the equation [9] one can conclude that the β ratios for water depth penetration under the pressure, as determined according to the PN-EN 12390-8 and PN-88/B-06250 standards depend not only upon the course of forcing with water according to the procedure given (PN-88/B-06250) standard applied up to recent time, but also upon the pore structure characteristics in concrete r .

In table 4 there are the β values calculated from the equation [9] for the course of forcing with water under the pressure corresponding to the consecutive steps of water tightness according to the PN-88/B-06250 standard and capillary radii corresponding to the typical radii for air pores from 10^{-6} m to $5 \cdot 10^{-5} \text{ m}$ (3), as well as the air entrained pores: from 10^{-5} m to $3 \cdot 10^{-4} \text{ m}$ (PN-EN 206-1). The results are shown in Figure 2.

The analysis of calculations (Table 4 and Figure 2) shows, that the radius of substitute capillary affects significantly the parameter β value when it is very small and simultaneously a low hydraulic load is applied (controlled or tested water tightness is low). At higher radius value its effect is



Rys. 1. Długość wypełnionego wodą odcinka kapilary ($r = 0,1 \mu\text{m}$) w funkcji czasu i ciśnienia $n\Delta p$ ($n = 1, 2, \dots, 5$; $\Delta p = 0,2 \text{ MPa}$).

Fig. 1. The length of filled with water capillary interval ($r = 0,1 \mu\text{m}$) as a function time and pressure $n\Delta p$ ($n = 1, 2, \dots, 5$; $\Delta p = 0,2 \text{ MPa}$).

WSPÓLCZYNNIK β W FUNKCJI PROMIENIA KAPILARY ZASTĘPCZEJ I ŚCIEŻKI OBCIĄŻENIA HYDRAULICZNEGO W BADANIU STOPNIA WODOSZCZELNOŚCI BETONU WEDŁUG PN-88/B-06250

β COEFFICIENT AS A FUNCTION OF SUBSTITUTE CAPILLARY RADIUS AND THE COURSE OF HYDRAULIC LOAD CHANGES IN THE WATER TIGHTNESS TEST OF CONCRETE ACCORDING TO THE PN-88/B-06250 STANDARD

Ścieżka obciążenia odpowiadająca stopniowi wod szczelności: Course of hydraulic load changes corresponding to the water tightness degree:	Promień kapilary: Capillary radius: 0,000001 m	Promień kapilary: Capillary radius: 0,0003 m
1	2	3
W 2	2,367	2,737
W 4	1,557	1,726
W 6	1,191	1,282
W 8	0,974	1,025
W 10	0,827	0,856
W 12	0,721	0,736
W 14	0,640	0,646

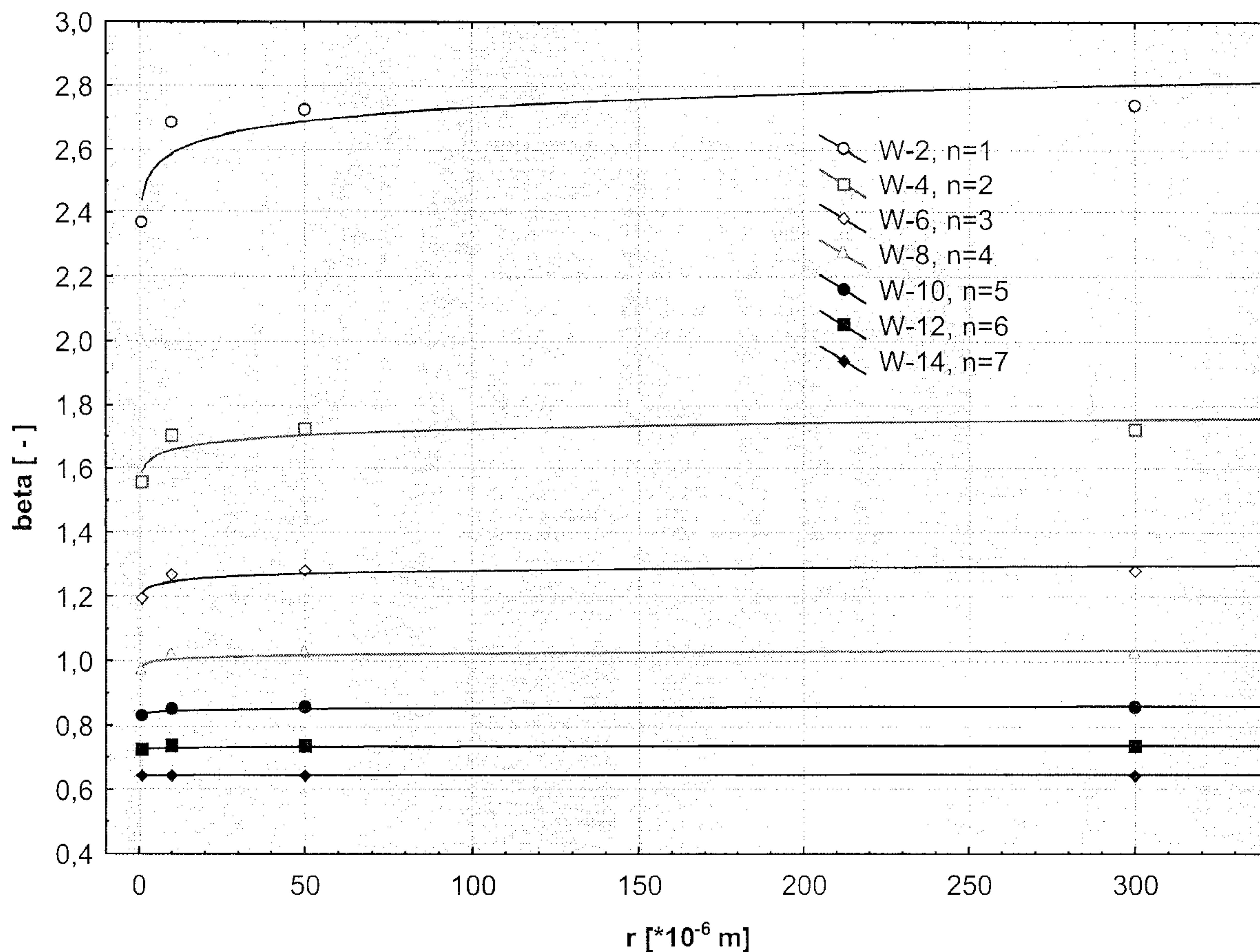
Z analizy wzoru [9] wynika, że stosunek β głębokości penetracji wodą pod ciśnieniem wody w próbkach badanych zgodnie z normą PN-EN 12390-8 i PN-88/B-06250 zależy nie tylko od ścieżki obciążenia w próbce podanej w dotychczas stosowanej normie (PN-88/B-06250), ale także od charakterystyki struktury porowatości betonu r .

negligible and the coefficients β depend practically upon the hydraulic load; as higher load as lower β values.

The comparison of the α coefficient values (Table 3) and β coefficient values (Tablica 4) allow to find that the β values calculated for smaller capillary pores are better fitted with α values (column 2 in Table 4). The differences between α and β coefficients grow with hydraulic load (degree of water tightness) and stabilize on the level of 20% β value.

3.2. Experimental verification

The European standard gives no precise requirements as the test apparatus for the water penetration depth measurements in concrete is concerned. Because of that, the apparatus used in water tightness test according to the PN-88/B-06250 standard was adapted; this gives the access of water to the upper surface of concrete sample. The new, exchangeable measuring heads with the diameter of 75 mm were taken; therefore it was possible to perform the tests according to both previous and new standard.



Rys. 2. Zmiany współczynnika β w funkcji promienia kapilary zastępczej r i ścieżki obciążenia hydraulicznego próbki w badaniu stopnia wod szczelności betonu według PN-88/B-06250.

Fig. 2. Changes of β coefficient as a function of substitute capillary radius r and the course of hydraulic load changes in the water tightness test of concrete according PN-88/B-06250 standard.

W tablicy 4 podano wartości β obliczone ze wzoru [9] dla ścieżek obciążenia wodą pod ciśnieniem próbek odpowiadających kolejnym stopniom wodoszczelności według PN-88/B-06250 i promieni kapilar odpowiadających typowym wymiarom porów powietrznych od 10^{-6} m do $5 \cdot 10^{-5}$ m (3) oraz porów wynikających z napowietrzenia betonu: od 10^{-5} m do $3 \cdot 10^{-4}$ m (PN-EN 206-1). Wyniki tych obliczeń pokazano na rysunku 2.

Analiza wyników obliczeń (tablica 4 i rysunek 2) wykazuje, że promień kapilary zastępczej wpływa znacząco na wartości parametru β , gdy jest bardzo mały i gdy równocześnie stosujemy stosunkowo małe obciążenie hydrauliczne próbki (sprawdzany lub badany stopień wodoszczelności jest mały). W przypadku większych promieni porów ich wpływ jest znikomy, a zmiany współczynnika β zależą praktycznie tylko od obciążenia hydraulicznego: im obciążenie to jest większe, tym wartości β są mniejsze.

Porównanie wartości współczynników α (tablica 3) i β (tablica 4) prowadzi do stwierdzenia, że wartościom α lepiej odpowiadają wartości β obliczone dla mniejszej wartości promienia kapilary (kolumna 2 w tablicy 4). Różnice pomiędzy współczynnikami α i β rosną jednak wraz z obciążeniem hydraulicznym (stopniem wodoszczelności), stabilizując się na poziomie około 20% wartości β .

3.2. Weryfikacja doświadczalna

Norma europejska nie precyzuje wymagań dotyczących aparatury do badania głębokości penetracji wody do betonu. Wobec powyższego zaadaptowano aparaturę stosowaną do tej pory do badania wodoszczelności według PN-88/B-06250, z dostępem wody do powierzchni próbki od góry. Przygotowano nowe, wymienne głowice o średnicy otworu 75 mm, co pozwoliło na prowadzenie pomiarów za pomocą tej samej aparatury według normy dotychczasowej i normy europejskiej.

Porównawcze pomiary głębokości penetracji wody według normy PN-88/B-06250 i PN-EN 12390-8 wykonywano na trzech próbkach betonu. Były to kostki o długości krawędzi 15 cm, pobrane z tej samej partii betonu. Uzyskano trzy krzywe głębokości penetracji wody (trzy profile zamknięcia przekroju próbki), z których wyznaczano średnią krzywą stanowiącą podstawę do wyznaczenia maksymalnej głębokości wnikiwania wody.

Przyjęto dwa końcowe ciśnienia (obciążenia) hydrauliczne w pomiarach wykonanych zgodnie z normą PN-88/B-06250. W związku z czym uzyskano dwie serie pomiarowe. W jednej pomiar kończył się pod ciśnieniem 0,8 MPa (sprawdzenie stopnia szczelności dla wody W8), w drugiej pod ciśnieniem 1,2 MPa (spraw-

The comparative water penetration depth measurements in concrete according to the PN-88/B-06250 and PN-EN 12390-8 standards were carried out on three samples. The 15x15x15 cm concrete cubes, collected from the same batch of concrete were used. The three water penetration curves were thus produced; the mean curve was determined from them and it was the base for finding the maximum water penetration depth.

The two final values of hydraulic load were taken into account in the measurements performed according to the PN-88/B-06250 standard. As a consequence, the two series of results were produced. In one of them the measurement was completed at 0,8 MPa (control of water tightness degree for W8), in the second – at 1,2 MPa (control of water tightness degree for W12). The results of water penetration depth are given in table 5.

In Figures 3 and 4 the points (X_{PN} , X_{EN}) and curves plotted according to the equations [2] of Murata (5) and Valenta (11), as well as to the equation [9], attributed to the capillary - porosity body saturation model are shown. In both cases the coefficients corresponding to the hydraulic loads applied in measurements were used.

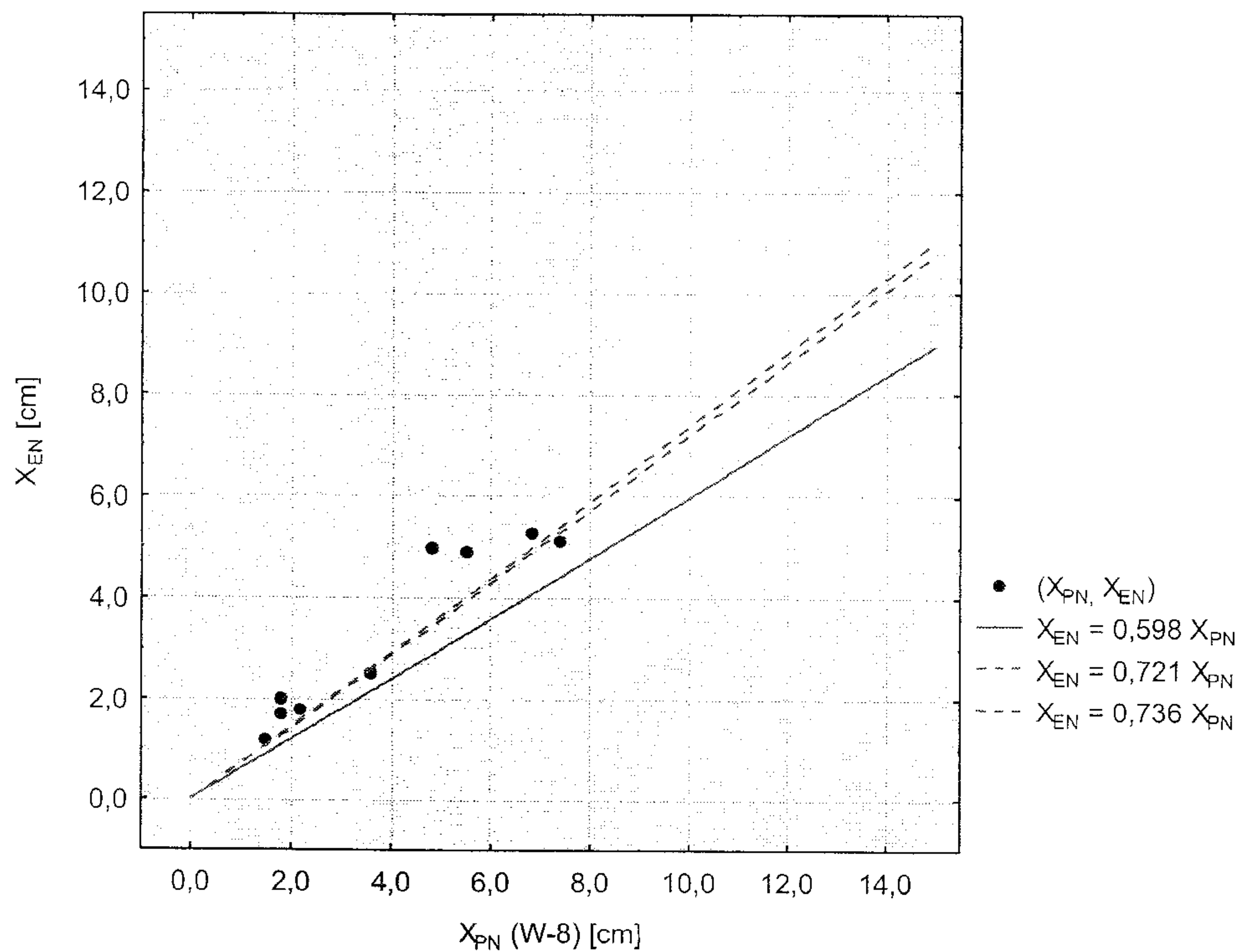
In both series there is no experimental points in the range corresponding to the concrete of low tightness, that is at deep water penetration. The differences in fitting the experimental data – in the area of these studies – are not significant, because of the

Tablica 5 / Table 5

WYNIKI BADAŃ GŁĘBOKOŚCI PENETRACJI WODY DO BETONU NA PODSTAWIE POMIARÓW ZGODNYCH Z NORMAMI: PN-EN 12390-8 I PN-88/B-06250

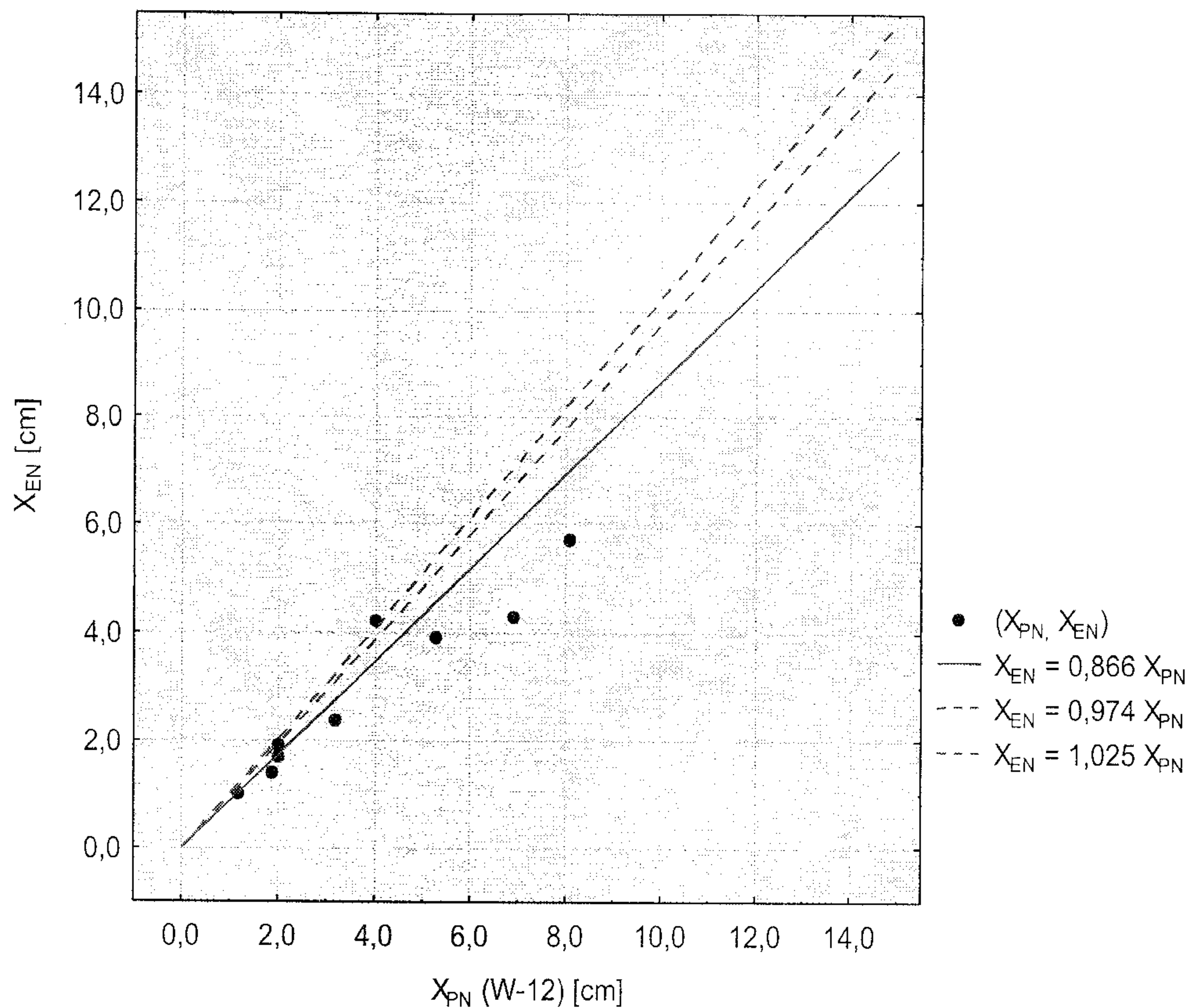
THE RESULTS OF WATER PENETRATION DEPTH IN CONCRETE BASED UPON THE PN-EN 12390-8 AND PN-88/B-06250 STANDARDS

Nr próbki betonu Samplenum ber	Maksymalna głębokość penetracji X_{EN} według PN-EN 12390-8 Maximum water penetration depth X_{EN} according to PN-EN 12390-8	Maksymalna głębokość penetracji X_{PN} według PN-88/B-06250 przy sprawdzaniu stopnia W-8 Maximum water penetration depth X_{PN} according to PN-88/B-06250 control for W-8	Maksymalna głębokość penetracji X_{PN} według PN-88/B-06250 przy sprawdzaniu stopnia W-12 Maximum water penetration depth X_{PN} according to PN-88/B-06250 control for W-12
1	2	3	4
1	5,3	6,8	-
2	5,0	4,8	-
3	2,5	3,6	-
4	1,8	2,2	-
6	5,1	7,4	-
7	4,9	5,5	-
8	2,0	1,8	-
9	1,7	1,8	-
10	1,2	1,5	-
11	2,4	-	3,2
12	1,0	-	1,2
13	3,9	-	5,3
14	1,9	-	2,0
15	1,7	-	2,0
16	4,2	-	4,0
17	1,4	-	1,9
19	5,7	-	8,1
20	4,3	-	6,9



Rys. 3. Głębokość penetracji wody zmierzona zgodnie z normami: PN-88/B-06250 i PN-EN 12390-8, prosta ciągła – odpowiada równaniu [2] w przypadku stopnia W-8, proste oznaczone liniami przerywanymi --- odpowiadają równaniu [9], dla dwóch wartości promienia kapilary zastępczej i obciążenia wodą pod ciśnieniem jak przy badaniu stopnia W-8.

Fig. 3. Depth of water penetration measured according to the PN-88/B-06250 and PN-EN 12390-8 standards, continuous line – corresponds to the equation [2] in case of degree W-8, the dotted lines --- correspond to the equation [9], for two radii of substitute capillary and degree W-8.



Rys. 4. Głębokość penetracji wody zmierzona zgodnie z normami: PN-88/B-06250 i PN-EN 12390-8, prosta ciągła – odpowiada równaniu [2] w przypadku stopnia W-12, proste oznaczone liniami przerywanymi --- odpowiadają równaniu [9], dla dwóch wartości promienia kapilary zastępczej i obciążenia wodą pod ciśnieniem jak przy badaniu stopnia W-12.

Fig. 4. Depth of water penetration measured according to the PN-88/B-06250 and PN-EN 12390-8 standards, continuous line – corresponds to the equation [2] in case of degree W-12, the dotted lines --- correspond to the equation [9], for two radii of substitute capillary and degree W-12.

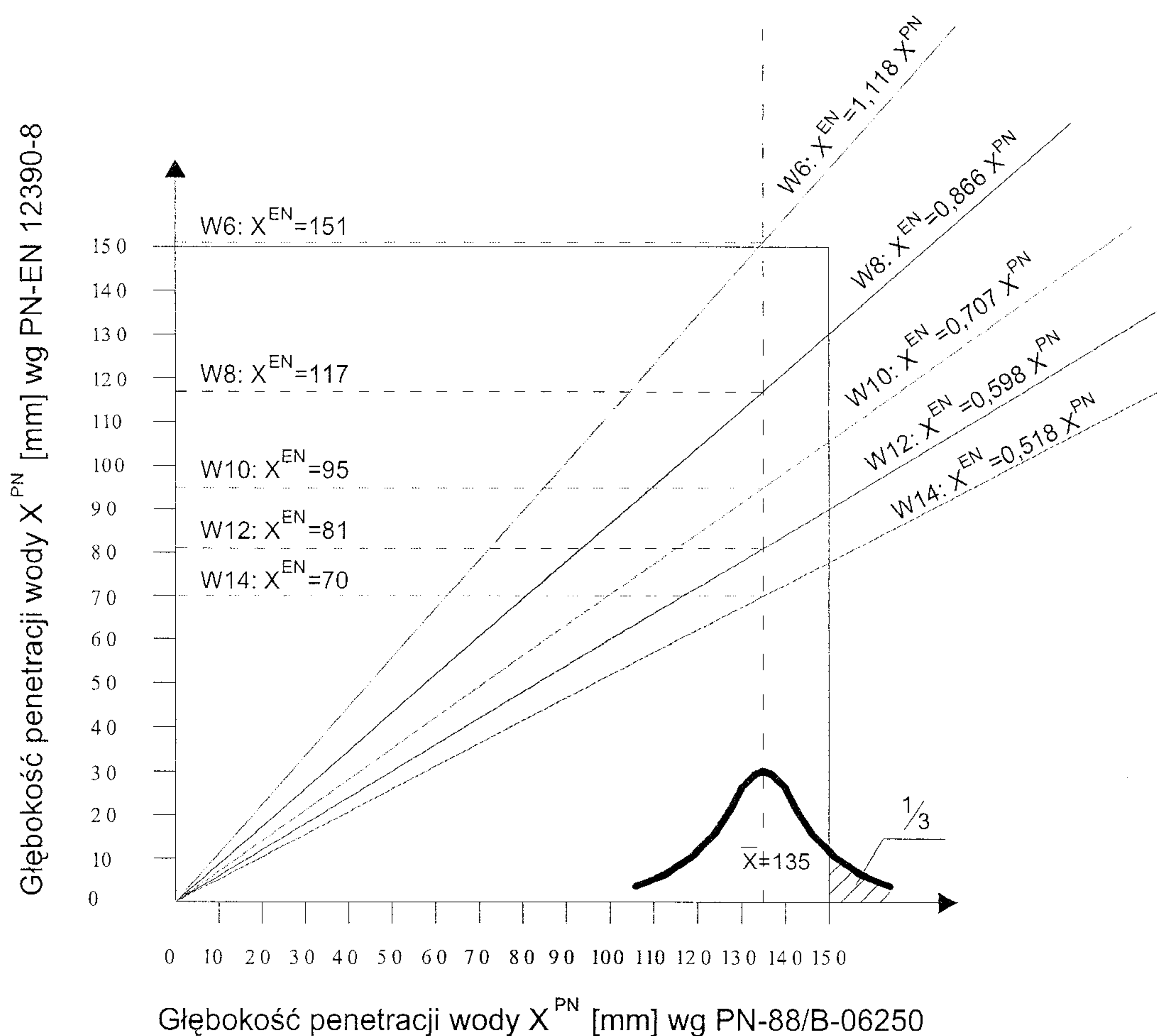
dzenie stopnia W12). Wyniki pomiarów głębokości wnika-
nia wody podano w tabeli 5.

Na rysunkach 3 i 4 pokazano
położenie punktów (X^{PN} ,
 X^{EN}) oraz przebieg prostych
odpowiadających równaniu
[2] Muraty (5) i Valenty (11)
oraz równaniu [9] wynikające-
mu z modelu nasycania ciała
kapilarno-porowatego. W obu
przypadkach zastosowano
współczynniki odpowiadające
stosowanym obciążeniom hy-
draulicznym właściwym dla
badanych stopni wodoszczel-
ności.

W obu seriach zaznacza się
brak punktów pomiarowych w
zakresie betonu o niskiej
szczelności, a więc głębszej
penetracji wody. Ze względu
na charakter zależności funk-
cyjnych (pęki prostych prze-
chodzących przez początek
układu współrzędnych) różni-
ce w dopasowaniu wyników
badań - w zakresie pozyska-
nych danych doświadczalnych
- nie są znaczące. Tym nie-
mniej warto zwrócić uwagę, że
w wypadku badania do stop-
nia W-8 lepsze dopasowanie daje model nasycania ciała kapilar-
no-porowatego (zależność wynikająca z modelu Muraty-Valenty mija
w tym wypadku grupę punktów). W badaniu do stopnia W-12 lep-
szy jest model Muraty-Valenty, ale i prosta wynikająca z modelu
nasycania ciała kapilarno-porowatego daje dobre dopasowanie.

4. Związek między stopniami szczelności betonu według PN-88/B-06250 a głębokością penetra- cji wody badaną według PN-EN 12390-8

Stopień wodoszczelności betonu zdefiniowany i badany według
PN-88/B-06250 jest wartością statystyczną. W badanej serii sze-
ściu próbek w co najwyżej dwóch może wystąpić przeciek. Oznac-
za to, że w przypadku określania stopnia wodoszczelności beto-
nu, a więc kontynuowania badania aż do wystąpienia trzeciego
przecieku - prawdopodobieństwo przekroczenia przez próbkę
maksymalnej głębokości wnika-
nia wody, to jest 15 cm, nie może
być większe niż 1/3. Ponieważ w takim badaniu rozkład gęstości
prawdopodobieństwa maksymalnej głębokości penetracji wody jest
taki sam dla każdego stopnia wodoszczelności (różne są tylko
obciążenia hydrauliczne, przy których rozkład ten wystąpi), dlate-



Rys. 5. Ilustracja teoretycznych (model Muraty-Valenty) zależności pomiędzy głębokością wnika-
nia wody w badaniu stopnia wodoszczelności betonu według normy PN-88/B-06250, a głębokością penetracji wody
badaną według normy PN-EN 12390-8.

Fig. 5. Theoretical relationship (Murata-Valenta model) between the water penetration depth in the water
tightness degree for concrete measurements according to the PN-88/B-06250 standard and the depth of
water penetration as measured according to the PN-EN 12390-8 standard.

character of functions (the pencils of straight lines passing thro-
ugh the origin of coordinates). However, it is worthwhile to notice
that in case up to the degree W-8 control measurement, better
fitting is achieved when the capillary – porosity body saturation
model is applied (the relationship derived from the Murata-Valen-
ta model leaves apart the group of points). In the experiments up
to the degree W-12 the Murata-Valenta model is better; however
the straight line based upon the capillary – porosity body satura-
tion model gives also good fitting.

4. Relationship between the degree of concrete water tightness according to PN-88/B-06250 and water penetration depth according to PN-EN 12390-8

The degree of water tightness for concrete according to the PN-
88/B-06250 standard is a statistical value. In the series of six sam-
ples the allowable leak can occur in maximum two of them. It means
that for the water tightness determination for concrete with conti-
nuation of experiments until the leak appears in third sample – the
probability that the maximum water penetration depth (15 cm) is

go możliwe jest przypisanie szerokim grupom betonów parametrów charakterystycznych dla takiego rozkładu.

Przyjmując według Kledyńskiego (3, 4), że rozkład wartości pomiarowych maksymalnej głębokości wnikania wody może być opisany funkcją rozkładu normalnego $\Phi(z)$, możemy obliczyć wartość średnią głębokości, zapewniającą, że liczba wyników wyższych od 15 cm (przeciek przez próbkę) nie przekroczy 1/3.

$$\bar{X}_{PN} \leq d - \Phi(-z) s \quad [10]$$

Przyjmując $d = 150$ mm, $\Phi(-z) = 0,43$ i potwierdzone w wielu badaniach odchylenie standardowe badanej wielkości wynoszące około 30 mm otrzymujemy ze wzoru [10]:

$$\bar{X}_{PN} \leq 137 \text{ mm} \quad [11]$$

W analogiczny sposób, korzystając z tablic statystycznych, można obliczyć wartości głębokości penetracji wody o określonym prawdopodobieństwie przewyższenia, np. 5% i 1%.

Kolejnym krokiem może być obliczenie głębokości penetracji wody określonej według PN-EN 12390-8 odpowiadającej statystycznej mierze głębokości wnikania wody w próbce zgodnej z PN-88/B-06250. Opisany tok postępowania i wyniki przeliczenia wartości \bar{X}_{PN} na wartości średnie \bar{X}_{EN} odpowiadające wybranym stopniom wod szczelności pokazano na rysunku 5, a wartości X_{EN}

exceeded cannot be higher than 1/3. Because in such measurements the distribution of probability density for the maximum water penetration depth is the same for every water tightness degree (only the hydraulic loads are different), therefore it is possible to ascribe the parameters characteristic for this distribution to vast groups of concretes.

Taking into account from Kledyński works (3, 4) that the distribution of experimental data for the maximum water penetration depth can be given by the normal distribution function $\Phi(z)$, one can calculate the mean depth value, being sure that the number of results higher than 15 cm (water leaks through the sample) does not exceed 1/3.

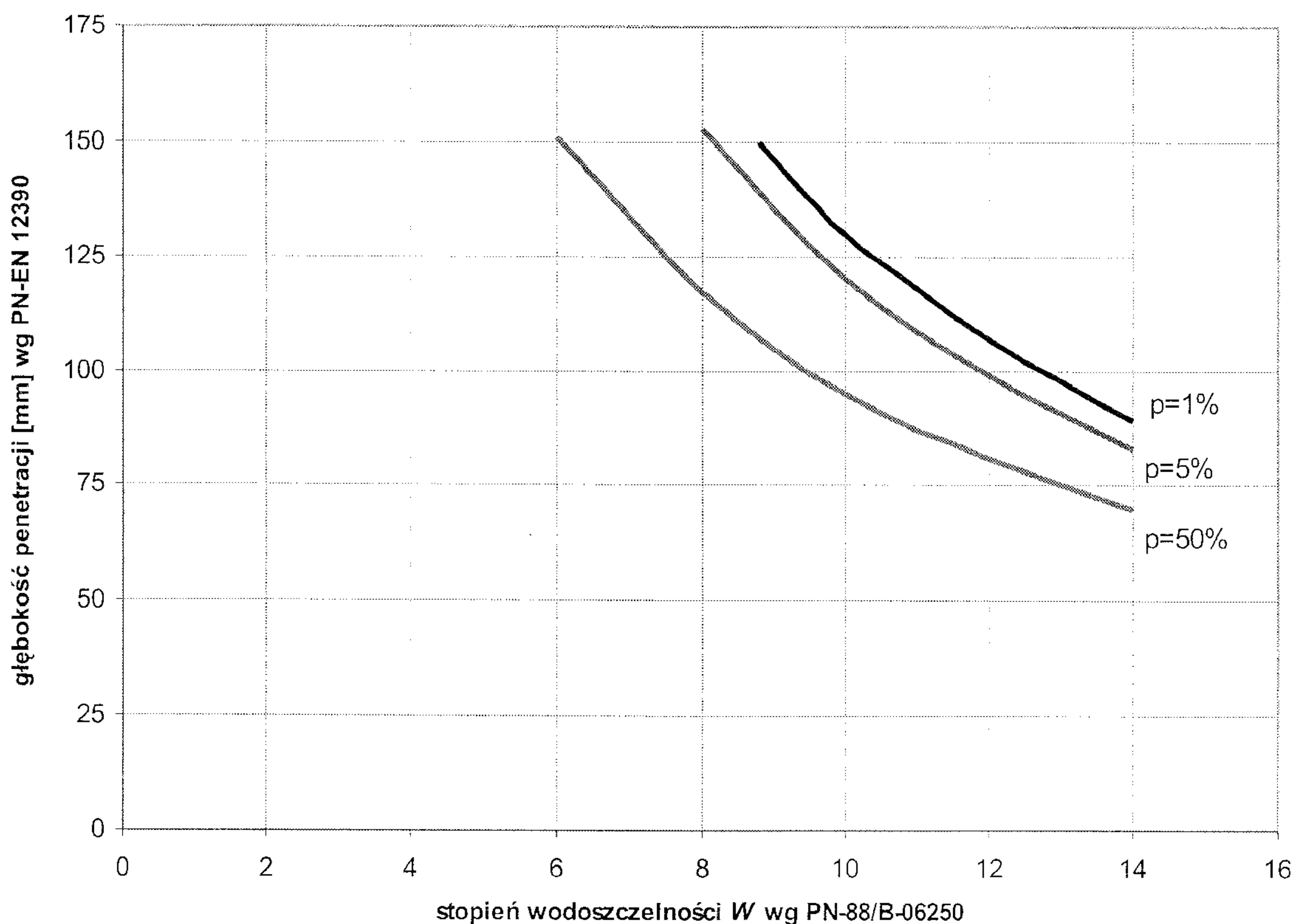
$$\bar{X}_{PN} \leq d - \Phi(-z) s \quad [10]$$

Assuming that $d = 150$ mm, $\Phi(-z) = 0,43$ and the standard deviation of the value thus examined is about 30 mm, the following result is found from equation [10]:

$$\bar{X}_{PN} \leq 137 \text{ mm} \quad [11]$$

The water penetration depth values with probability of for example 5% and 1% exceeding the assumed one can be calculated in analogous way, using the statistical tables.

The calculation of water penetration depth according to the PN-EN 12390-8 standard, corresponding to the statistical evaluation



Rys. 6. Głębokość penetracji wody o określonym prawdopodobieństwie przewyższenia p w próbce wod szczelności betonu według PN-EN 12390-8 i odpowiadający im stopień wod szczelności betonu według PN-88/B-06250.

Fig. 6. Water penetration depth with probability of exceeding "p" in the water tightness measurements in concrete according to the PN-EN 12390-8 standard and corresponding water tightness degree according to the PN-88/B-06250 standard.

of water penetration depth according to the PN-88/B-06250 can be the next step. The procedure and the results produced by calculation of values to mean values, corresponding to some selected water tightness degrees are shown in Figure 5, the X_{EN} values, with given probability of exceeding the assumed value are plotted -- as a function of water tightness degree in Figure 6.

5. Summary

The new criterion of the water tightness evaluation through examination causes that the tightness of concrete is not included in requirements for concrete. Therefore, when the requirement concerning the water tightness appears, the individual specification for concrete should be taken into account. In such a way the possibility of re-

