

SZKIEŁKIEM I OKIEM

SZKŁO – KIEDY, JAK I Z CZEGO...

Piotr Kawalerowicz

Jedną z najbardziej ludzkich, spośród wielu charakterystycznych dla człowieka cech, jest **ciekawość**. W połączeniu z uporem, pracowitością i dociekliwością często była źródłem odkryć - zarówno tych popychających cywilizację do przodu, jak i tych, które na lata pogrążały ją w mrokach. Nic lepiej nie wpływa na rozwój techniki, jak wojna, niestety! Do pogrążania w mroku, jak dowodzi historia, znacznie lepiej służyły kłeski głodu, najazdy barbarzyńców i religie, które w czasach pokoju miały czas zająć się skutecznie indywidualnymi grzesznikami i paleniem ich dzieł oraz ich samych. W starożytnych Chinach bardzo efektywnemu „zakrywaniu” odkryć (np. Ameryki) służyła rada mandarynów. Obecnie wiele patentów jest utajnianych „ze względu na kluczowe znaczenie dla bezpieczeństwa obronnego” kraju lub wykupywanych przez wielkie koncerny, które następnie zamykają wynalazki w sejfach, gdyż nie zarobiły jeszcze wystarczająco dużo na „starych”, już wdrożonych rozwiązaniach.

Jaka jest historia wynalazków i odkryć, skąd się brały, kto i gdzie ich dokonywał, jaki był ich dalszy los i wpływ na cywilizację?

SZKŁO

Szkoło przez długi czas od momentu wynalezienia było nieprzezroczystą masą. Barwione szklane kuleczki (perły) i podłużne paciorki służyły jako ozdoba już w starożytnym Egipcie i Rzymie. Szkoło swoje zalety „odkrywało” powoli - początkowo używane było głównie do celów ozdobnych, wkrótce okazało się, że znakomicie służy też do podawania i przechowywania trunków oraz napojów. Inne ważne zalety szkła odkryto znacznie później. Istotny rozwój wiedzy na temat szkła dokonał się w Imperium Rzymskim, gdzie zajmowało ono ważną pozycję. Początko-



Rzymska szklana urna z lat 110-230



Formowanie przez szklarza bańki szklanej, z której wytwarzano tzw. „szkoło księżycowe”

Australopitek i *Homo habilis* - człowiek pierwotny.

Homo sapiens - człowiek rozumny.

Pierwsze wyraźne przejawy tzw. kultury rolnej - uprawy, co pociąga za sobą początki „osiadłego” trybu życia (Mezopotamia, Azja Wschodnia, Meksyk, Peru).

W Egipcie podczas procesu wytopu metalu wytapiacze odkrywają, że w piecach powstaje też inny nieznan material - szkło. Przeprowadzają eksperymenty, aby ustalić, jakie warunki i składniki są niezbędne, żeby szkło otrzymać. Następnie zaczynają wytwarzać pierwsze wyroby ze szkła: kolorowe perły i małe przęcki. Szkoło staroegipskie jest szkłem wapieniowo-sodowym (skład: kwas krzemowy, wapieni i sól), jego wytwarzanie wymagało znajomości sposobów topienia kwarcu. Czysty piasek kwarcowy topi się w temperaturze ok 1700 °C, z dodatkiem sody lub potasu już w temperaturze 1200 °C.

W Egipcie wytop szklanych naczyń z użyciem piaskowego rdzenia.



Naczynie toaletowe na wonności tzw. *aryballos*

formowane za pomocą rdzenia piaskowego z VI do IV w p.n.e.



Rzymska lub egipska miska z 300-500 r.



Rzymski podwójny dzban

Rzymski poeta Aureliusz Prudentiusz Klemens opisuje w swoich *Pieśniach* okna wypełnione różnobarwnym szkłem (mozaikę) znajdujące się w kościele św. Pawła w Rzymie.



Rzymskie szklane butelki z lat 251-450



Szyba okienna w kształcie misy z 1920 r. Szyby takie były wykonywane na Bliskim Wschodzie od VII w.



Opat Gozbert w klasztorze Te-gernsee stworzył warsztat malarsztwa na szkło. Szyby zestawiano z oddzielnych kawałków, ponieważ nie znano jeszcze sposobu wytwarzania tafli szklanych.

Arabski uczone Alkhażini wynalazł piknometr - szklane naczynie

do wyznaczania gęstości cieczy za pomocą ważenia. Francuz Philippe de Cacerai wynalazł nową metodę wytwarzania szkła okiennego. Walcowanie szkła nie było jeszcze znane - szkło okienne wytwarzano z kawałków szkła wycinanych ze ścianek szklanych baniek, które potem łączono. Cacerai zaproponował, aby utformować szkło poprzez szybkie kręcenie ręką, na której znajdowała się plastyczna jeszcze masa.

W wyniku tego powstawała szyba o kształcie koła, z której potem wycinano fragmenty prostokątne lub o kształcie sierpa (stąd nazwa „szkoło księżycowe”). Antonio Neri, florencki szkarz, publikuje książkę zawierającą zebrane informacje związane z produkcją szkła i przedmiotów ze szkła. Opisuje m.in. sposoby barwienia szkła oraz „olowio-we szkło kryształowe”.

WYNALEZKÓW

3 000 000 lat p.n.e.
2 000 000-1 500 000 lat p.n.e.
350 000-250 000 lat p.n.e.
ok. 10 000 lat p.n.e.
ok. 8 000 p.n.e.
w IV tysiącleciu p.n.e.
ok. 4000-3500 r. p.n.e.
ok. 3000 r. p.n.e.
ok. 1600 r. p.n.e.
ok. 1500 r. p.n.e.
ok. 1400 r. p.n.e.
669-633 r. p.n.e.
ok. 100 r. p.n.e.
p.n.e. /n.e.
405 r.
999 r.
1038 r.
1121 r.
1200 r.
1330 r.
V 1519 r.
1540 r.
1612 r.
1670 r.

Homo erectus - człowiek wyprostowany.

Człowiek z Cromagnon.

Pojawia się: pismo, koło, żagiel, wytop metali z rud.
Początki szklarstwa w Mezopotamii i Aleksandrii.

W Egipcie opracowano technologię produkcji szkła. Proces składa się z dwóch etapów: w pierwszym wymieszane składniki umieszcza się w płaskiej formie, którą wstawia się do pieca o temperaturze maksymalnej 750 °C . W drugim etapie, powstała masa jest mieszana i topiona w temp. ok. 1100 °C, po czym trafia ponownie do form lub jest wyciągana w paski (nici szklane). Powstają pierwsze wazy ze szkła.

Naczynia szklane wytwarzane są metodą wyciągania włókien szklanych.

W Sidonie w Syrii rzemieślnicy odkryli sztukę dmuchania szkła za pomocą tzw. piszczeli. Były to żelazne rurki z uchwytami drewnianymi, za pomocą których pobierano część masy szklanej, a następnie poprzez obracanie, kołysanie lub walcowanie na płytach drewnianych lub kamiennych nadmuchiwało do kształtu gruszki. Proces ten umożliwiał, po ponownym podgrzaniu, dalsze różnorodne formowanie za pomocą różnych narzędzi. Warunkiem formowania szkła za pomocą piszczeli było uzyskanie odpowiednio wysokiej temperatury w piecu, co sprawiało, że masa szklana była mniej kleista i pozwalała się łatwiej formować. Zamieszkałi w Syrii Fenicjanie techniki wytwarzania i obróbki szkła nauczyli się od Egipcjan, odkryli także, w jaki sposób dotychczas wyłącznie nieprzezroczyste: mlecznobiałe bądź kolorowe szkło można odbarwić. W Rzymie wynaleziono też szybę okienną.

Arab Alhazen (Ibn Al Haitam) wykorzystał soczewki o kształcie kuli jako szkło powiększające. Wyjaśnił też, że widzenie przedmiotów polega na obserwacji emitowanych przez nie lub odbijanych promieni świetlnych. Prowadził eksperymenty z soczewkami i lustrami oraz badania optyczne nad załamaniem i odbiciem światła.

W Wenecji powstają pierwsze fabryki produkujące szkło na skalę przemysłową.

Umiera Leonardo da Vinci pozostawiając po sobie ok. 7000 stron notatek zawierających pomysły i wynalazki. Część z nich to rysunki pokazujące ludzką anatomię o fenomenalnej dokładności, prawdopodobnie wykonane dzięki użyciu soczewek.

Christoph Schürer, wytwórca szkła, wynajduje w Neudeck (okolice Schneebergu - Śląsk) niebieskie szkło kobaltowe. Kolor taki uzyskuje poprzez dodanie do składników szkła wypralonej rudy kobaltu.

Angielski uczony Issac Newton za pomocą pryzmatu wykonanego ze szkła rozkłada światło słoneczne na barwy składowe. Kilka lat później konstruuje nowoczesną lunetę - teleskop zwierciadlany.

Warto poznać

Szkło

Szkło to materiał otrzymywany w wyniku stopienia tlenku krzemu (krzemionka, SiO₂) z różnymi dodatkami dobranymi w odpowiednich proporcjach, a następnie szybkiego ochłodzenia tak, aby nie doszło do pełnej krystalizacji krzemionki, lecz żeby w strukturze pozostało jak najwięcej fazy amorficznej, będącej formalnie rzeczą biorącą przechłodzoną cieczą.



Kawałki zdobionej szklanej mozaiki z 332 r. p.n.e.



Niebieski dzban sygnowany „Ennion Sidonian” formowany przez dmuchanie z l w. n.e



Rzymskie szklane butelki z początków n.e.

Surowcem do produkcji tradycyjnego szkła jest piasek kwarcowy (SiO₂) oraz dodatki, najczęściej: węgiel sodowy (Na₂CO₃) i węgiel wapniowy (CaCO₃), tlenki boru i ołowiu (B₂O₃, PbO) oraz barwniki, którymi są zazwyczaj tlenki metali przejściowych (kadm, mangan i inne). Surowce są mieszane, topione w piecu w temperaturze 1400-1500 °C, po czym formowane w wyroby przed pełnym skrzepnięciem.

Czy wiesz, że...

Właściwości szkła są uzależnione od sposobu wytopu oraz w ograniczonym zakresie od składu chemicznego.



Islamskie naczynie do przeprowadzania sublimacji



Islamska butelka z okresu 901-1200

Szkło to:

- materiał izotropowy
- słaby przewodnik dla elektryczności
- twardość w skali Mohsa 5-7
- materiał o dużej odporności chemicznej (nie jest odporny na działanie kwasu fluorowego i fosforowego)

Światło białe po przejściu przez szklany pryzmat



wo sprowadzano je z terenów Syrii, gdzie należąco piece pozwalające na uzyskanie odpowiednio wysokiej temperatury płynnego szkła, tak że możliwe stało się jego formowanie przez dmuchanie. Tam też dzięki dodaniu rudy manganu (braunsztynu) po raz pierwszy udało się wytworzyć szkło przezroczyste. Szkło, pomimo iż było w Rzymie powszechnie stosowane, dla zwykłego śmiertelnika nie było dostępne. Za szklane naczynie, zdobiony puchar do mleka, przywieziony przez konsula Pompejusza z jednej z wypraw, cesarz Neron zapłacił 300 talentów, co dziś odpowiadałoby kwocie kilku milionów dolarów! Dążenie do perfekcjonizmu, charakterystyczne dla Imperium Rzymskiego, sprawiło, że różnorodne sposoby wytwarzania i obróbki szkła osiągnęły tam doskonałość: szlifowanie i rżnięcie szkła, rzeźbienie wypukłe, malowanie i emaliowanie. Szczytowy rozwój rzymska sztuka wyrobu szkła osiągnęła na przełomie IV w. n.e. Wtedy to powstają

tw. szklane naczynia diatret - puchary w kształcie dzwonów lub szal, bez podstawy (nóżki), ozdobione kolorową, delikatnie szlifowaną, szklaną siateczką.

Jednak to nie piękno wyrobów ze szkła sprawiło, że było ono i jest tak istotnym materiałem. Postępujący rozwój technik obróbki szkła i poznanie jego właściwości przyczyniły się do innych ważnych zastosowań związanych z badaniami naukowymi i odkryciami. Szklane wyroby okazały się nieocenione dla rozwoju chemii, której postęp nie byłby możliwy bez naczyń chemicznie obojętnych: różnorodnych próbek, menzurek czy pipet. Bez szkła Newton nie rozszczepiłby za pomocą pryzmatu światła, nie byłoby też soczewek, a zatem również okularów, mikroskopu czy lunet. Nie mając rozwiniętych metod badawczych, bez pomocy optyki, Galileusz czy Kopernik nie dokonaliby swoich odkryć w astronomii. Podobnie jak badacze, niewidzialnego gołym okiem, świata bakterii czy później atomów. Bez zaawansowanej optyki nie byłoby wiedzy o planetach i gwiazdach, o człowieku, budowie komórki i DNA.

Do przygotowania kalendarium wykorzystano materiały źródłowe:

„Nauka Technika i Wynalazki”

Raymond L. Francis, wyd. AMBER

„Kronika Techniki” - Praca zbiorowa, wyd. WEP PWN

George Ravenscroft w Anglii opracowuje optyczne szkło ołowiowe, tzw. szkło flintowe - materiał optycznie izotropowy.

Joseph von Utzschneider stworzył w Benediktbeuern hutę szkła artystycznego, produkującą głównie szkło optyczne. Do tej pory huty wytwarzały przede wszystkim szkło użytkowe: butelki, szkło laboratoryjne, filizanki. Urządzenia optyczne wymagały szkła wysokiej jakości - wolnego od szkaza, o zróżnicowanym współczynniku załamania światła, z którego można było następnie wyprodukować układy optyczne soczewek (np. do lunet czy mikroskopu).

Compagnie des Cristalleries de Baccarat wprowadziła na rynek europejski wynalazione w Anglii w 1810 r. szkło prasowane. Początkowo wytwarzano w ten sposób elementy wypukłe, a następnie również elementy wklęsłe. W Kensington po raz pierwszy wytłaczano tą metodą nawet butelki.

Robert Lucas Chance skonstruował w Anglii pierwszy piec szklarski umożliwiający produkcję tafli szklanych w sposób ciągły. Nowe rozwiązanie oznacza postęp, gdyż do tej pory produkcja płaskich tafli szkła nadających się do wyrobu lusterek i szyb okiennych stanowiła duży problem. Podjęto próby wytwarzania wyrobów ze szkła dętego (butelki) przez tłoczenie. Francuski wytwórca Pellat opracował formy dęte, w których z plastycznych, gorących kul szklanych wydmuchiwano butelki.

W Marchenstern po raz pierwszy na dużą skalę wyprodukowano „watę szklaną”. Dokonał tego czeski artysta-szklarz P. Weiskopf.

Otto Schott, Carl i Rudolph Zeiss i Ernst Abbe uzyskując ciekłe szkło, wykonują nową techniką soczewki do mikroskopów. Ashley i Arnell konstruują maszynę do dmuchania szkła, która w ciągu 10 godz. może wyprodukować do 1000 butelek.

Otto Schott, chemik z Jeny, wytwarza szkło borosilikatowe odporne na zmiany temperatury. Znajduje ono zastosowanie jako materiał na klosze lamp, w których występują duże różnice temperatur (np. po zgaszeniu).

W USA upowszechnia się produkcja włókna szklanego. Znajduje ono szerokie zastosowanie. Z włókien szklanych wykonuje się m.in. wełnę filtracyjną, niepalne zasłony, izolacje cieplne i akustyczne. Maty z włókien szklanych stosowane są jako materiał utwardzający do żywic poliestrowych.

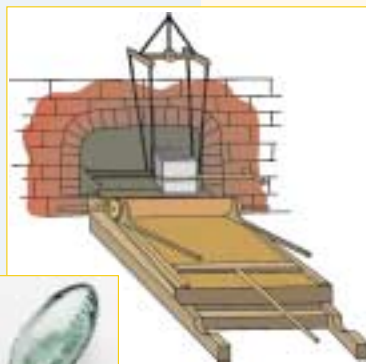
W fabryce w Moguncji opracowano nową metodę produkcji szkła: zol-żel, czyli tzw. „szkło z butelki”. Nie wymaga ona topienia składników szkła, po czym krzepnięcia wytopu, szkło powstaje w wyniku procesu żelowania w temperaturze do 1000 °C niższej od temperatury topnienia (czyli np. 600 °C zamiast 1600 °C). Metoda ta znakomicie nadaje się do wytwarzania ekstremalnie cienkich, równomiernych tafli szkła.

W USA w fabryce szkła Corning wytwarza się tzw. fototropowe szkło. Posiada ono właściwości zmniejszania przepuszczalności w zakresie widzialnym i ultrafioletowym widma w zależności od intensywności światła.

Amerkański fizyk Stanford opracowuje szkło półprzewodnikowe.

Zakłady Schotta wytwarzają warstwy szklane odbijające światło słoneczne, przeznaczone dla wysokiego budownictwa. Szkło takie odbija od 40-60% ciepła promieniowania słonecznego.

Odewanie tafli szkła optycznego w fabryce Schott z okazji 50. rocznicy - 2002 r. Fot. Schott



Butelka Ashleya na wodę wykonana maszynowo



Butelka Rylandsa z 1900 r.



Szklana tuba użyta przy odkryciu sztucznej radioaktywności z 1930 r.



Wzór powstający w wyniku rozbięcia szkła utwardzanego



WYNALEZKÓW

- 1674 r.
- 1679 r.
- 1806 r.
- 1830 r.
- 1839 r.
- 1844 r.
- 1846 r.
- 1856 r.
- 1860 r.
- 1868 r.
- 1882 r.
- 1886 r.
- 1889 r.
- 1890 r.
- 1893 r.
- 1930 r.
- 1955 r.
- 1958 r.
- 1962 r.
- 1967 r.
- 1968 r.
- 1968 r.
- 1977 r.

Johann Kunckel von Löwenstern wynajduje „szkło rubinowe”. Przez długie lata za szkło luksusowe uchodziło szkło przejrzyste, a jako użytkowe stosowane było głównie szkło zielone. Wytwarzanie szkła barwionego wymaga utrzymania stałej temperatury po dodaniu do masy szklanej małych cząstek metalu, które ją zabarwiają.

Francuz Marc Antoine Augustin Gaudin uzyskał szkło poprzez roztopienie kwarcu. Ma ono szczególne właściwości: jest żaroodporne, minimalnie rozkurcza się pod wpływem wysokiej temperatury i bardzo dobrze przepuszcza promienie ultrafioletowe.

Anglik Farthing wprowadza maszynowe wydmuchiwanie szkła. Metoda ta upowszechnia się w hutach około 1870 r.

Pantotsek, chemik w hucie szkła w Zlatnie (Węgry), opracował sposób pokrywania wyrobów szklanych powłokami mieniającymi się tęczowymi barwami. Efekt ten uzyskał, pokrywając powierzchnię (warstwowo) cienką powłoką z metali, lekko zabarwioną tlenkiem bizmutu.

Otto Schott oraz właściciele zakładów w Jenie: Ernst Abbe, Carl i Rudolph Zeiss rozpoczynają wytwarzanie szkieł optycznych.

Louis Comfort Tiffany, rzemieślnik z Nowego Jorku, pracuje nad ulepszeniem szkła „favrite”. Zafascynowany staroegipskim szkłem i jego mieniającą się, wskutek wietrzenia, powierzchnią, próbuje osiągnąć podobny efekt. Dokonuje tego, powlekając gorące powierzchnie swoich szkieł solami metali.

Amerikanin Edward D. Libbey prezentuje w Chicago suknię z wplecionymi włóknami szklanymi.

Anglik Narinder S. Kapany wynalazł szklane przewodniki światła. Podjął próby z zakrzywionymi prętami szklanymi obserwując, że światło wewnątrz pręta nie ulega rozproszeniu. Powstaje światłowód. Już w 1966 r. użyto go do transmisji rozmów telefonicznych.

Anglik sir Alastair Pilkington, po 6 latach prac nad produkcją szkła taflowego, wprowadza nową rewolucyjną metodę pozwalającą na masową produkcję szkła (float glass). Wyprodukowane szkło nie wymaga dalszej obróbki: szlifowania czy polerowania, i znajduje szerokie zastosowanie w produkcji szyb i lusterek. Obecnie około 90% szkła jest produkowane w ten sposób.

W fabryce szkła Schott w Moguncji wytworzono ceramikę szklaną z prawie niemierzalnym wydłużeniem termicznym. Ceramika jest ciałem stałym, składającym się z niezliczonych małych kryształów, podczas gdy szkło jest jednorodną zastygłą cieczą.

Zakłady Schotta w Moguncji wytwarzają specjalne szkło „piran” do ochrony przeciwpożarowej o podwyższonej odporności na temperaturę.



Szklana retorta z Włoch z okresu 1650-1800



Butelka do wina z 1740 r.



Metalowa forma do formowania i oznaczania butelek z 1850 r.



Ceremonia otwarcia fabryki w Mainz, 10 maja 1952 r., połączona z pierwszym odlewem szkła optycznego



Z ceramiki szklanej produkowane są np. płyty kuchni elektrycznych

Z przymrużeniem oka

Nowe szyby



Zwierciadło



Szklana pułapka



Zwierciadło do teleskopu o średnicy 8,2 m wykonane z ceramiki szklanej. Fot. Schott