



# Aerożel

**Aerozele to otwartokomórkowe materiały o wyjątkowo małej gęstości. Dzięki swojej unikalnej strukturze, posiadają właściwości, które sprawdzają się w całej gamie różnych zastosowań.**

**A**erozele powstają wskutek usunięcia składnika płynnego z żelu, przy zastosowaniu temperatury i ciśnienia wyższych od punktu krytycznego składnika płynnego. Poprzez proces ekstrakcji substancji płynnych w nadkrytycznych warunkach, dochodzi do eliminacji silnych sił kapilarnych, powstających na powierzchni międzyfazowej ciecz-gaz, ponieważ obecna jest tylko jedna faza nadkrytyczna i żel kurczy się bardzo nieznacznie lub w ogóle nie zmniejsza swojej objętości. Dlatego też aerozele zachowują strukturę żelu i mogą mieć gęstość na poziomie zaledwie 0,004 g/cc, duże powierzchnie rzędu 1500 m<sup>2</sup>/g, wysoką porowatość (85% lub wyższą) i stosunkowo dużą ilość porów. Połączenie tych właściwości w strukturze amorficznej daje materiał o najniższych wartościach przewodności cieplnej ze wszystkich materiałów stałych.

## Mikrostruktura

Aerożel krzemionkowy charakteryzuje się otwartą porowatością i swoją mikrostrukturą przypomina połączone ze sobą naszyjniki z pereł o wymiarach 1-5 nm. Te nanocząsteczki odpowiadają za duże powierzchnie aerożeli. Ze względu na fakt, że cząsteczki (oraz pory) są mniejsze od długości fali światła widzialnego, aerozele mogą mieć postać transparentnego, porowatego ciała stałego. Ponadto, ultramałe rozmiary komórek/porów są mniejsze niż średnia droga swobodna cząsteczek powietrza, co sprawia, że aerozele są doskonałymi izolatorami o przewodności cieplnej ok. 100 razy niższej od tej, którą charakteryzują się polimery organiczne o standardowej gęstości. Dzięki mikrostrukturze aerozele cechują się również niską szybkością rozchodzenia się fal dźwiękowych.

Średnica pojedynczego pory typowego aerożelu waha się średnio między 2 nm a 50 nm, jak wynika z wielopunktowej krzywej adsorpcji azotu w zakresie ciśnienia względnego (P/Po) 0,01-0,99 (za pomocą metod adsorpcji gazów można zmierzyć średnice porów o średnicach 0,3 – 300 nm, ale nie można stwierdzić obecności większych porów), przy czym ponad 50% całkowitej liczby porów aerożelu stanowią te o średnicy między 2 a 60 nm. Większe pory mogą występować w aerożelu, jednakże trudno je zidentyfikować, ponieważ metody stosowane do określenia ich rozmiarów zazwyczaj uszkadzają aerożel. Żel można zobrazować jako zbudowany z licznych 1-5 nanometrowych pierwotnych cząstek zolu, tworzących strukturę sieci, składającą się z większych skupisk pierwotnych cząsteczek o rozmiarach 20-100 nm.

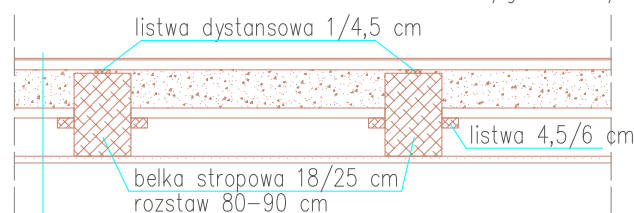
## Produkcja

Znane są i produkowane aerozele nieorganiczne (takie jak aerozele na bazie krzemu), organiczne (takie jak aerozele rezorcynowo-formaldehadowe) oraz nieorganiczne/organiczne hy-

## Docieplenie stropu nad pomieszczeniem nieogrzewanym

### DETAL A – INWENTARYZACJA

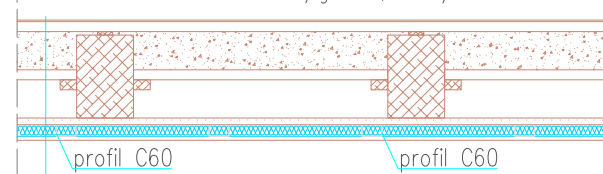
STROP NAD POMIESZCZENIEM NIEOGRZEWANYM /gr. 31 cm/



- płyta paździerzowa twarda
- deska – 30 mm
- polepa gliniana – 115 mm
- deska – 30 mm
- pustka powietrzna – 115 mm
- siatka stalowa Rabitza
- tynk cementowo-wapienny 20 mm

### DETAL A

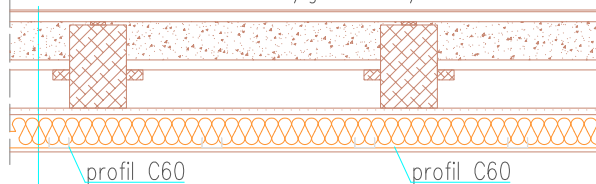
STROP NAD POMIESZCZENIEM NIEOGRZEWANYM  
OCIEPLENIE AEROŻELEM /gr. 33,5 cm/



- profil C60
- płyta paździerzowa twarda
- deska – 30 mm
- polepa gliniana – 115 mm
- deska – 30 mm
- pustka powietrzna – 115 mm
- siatka stalowa Rabitza
- Wykonane ocieplenie – AEROŻEL gr. 35 mm
- płyta kartonowo-gipsowa – 12mm

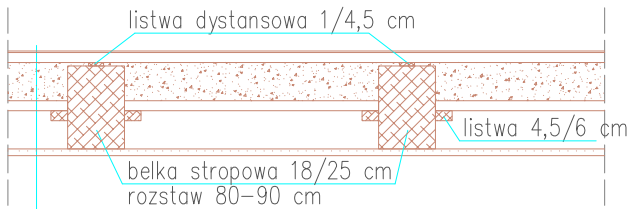
### DETAL A

STROP NAD POMIESZCZENIEM NIEOGRZEWANYM  
OCIEPLENIE TRADYCYJNE /gr. 41 cm/



- profil C60
- płyta paździerzowa twarda
- deska – 30 mm
- polepa gliniana – 115 mm
- deska – 30 mm
- pustka powietrzna – 115 mm
- siatka stalowa Rabitza
- tynk cementowo-wapienny 20 mm
- Wykonane ocieplenie – wełna mineralna gr. 100 mm
- Folia paroizolacyjna
- płyta kartonowo-gipsowa – 12mm

**DETAL B**  
STROP POD POMIESZCZENIEM NIEOGRZEWANYM  
INWENTARYZACJA

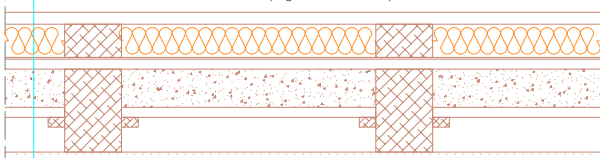


- płyta paździerzowa twarda
- deska – 30 mm
- polepa gliniana – 115 mm
- deska – 30 mm
- pustka powietrzna – 115 mm
- siatka stalowa Rabitza
- tynk cementowo-wapienny 20 mm

brydy. Aerozele nieorganiczne wytwarzane są na bazie alkoholanów i zawierają takie materiały, jak: krzemionka, tlenek tytanu, tlenek cyrkonu, tlenek glinu. Aerozele krzemionkowe wytwarza się tradycyjnie przy zastosowaniu hydrolizy i kondensacji alkoholanów krzemu lub żelatynizacji kwasu krzemowego lub szkła wodnego. Do aerozeli organicznych zaliczamy m.in. aerozele uretanowe, poliizocyanianowe, rezorcynowo-formaldehadowe (RF), poliolefinowe, meleminowo-formaldehadowe oraz fenolowo-furfuralowe. Do produkcji aerozeli organicznych, takich jak aerozele RF, stosuje się zazwyczaj polimeryzację kondensacyjną rezorcyny i formaldehydu w środowisku zasadowym. Kserozele (odparowanie rozpuszczalnika metodą zol-żel), ambizele (odparowanie rozpuszczalnika alkanowego) oraz aerozele (suszenie nadkrytyczne) wytwarza się z żelu, a środowisko, w jakim odbywa się suszenie, ma ostateczny wpływ na końcowe właściwości materiału. Każdy typ materiału wymaga uformowania i osuszenia go poprzez odparowanie, ekstrakcję podkrytyczną

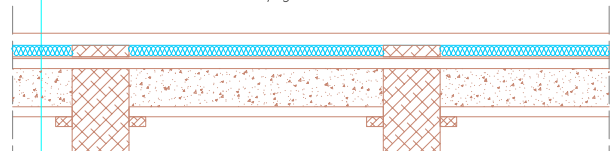
**Docieplenie stropu pod pomieszczeniem nieogrzewanym**

**DETAL B**  
STROP POD POMIESZCZENIEM NIEOGRZEWANYM  
OCIEPLENIE TRADYCYJNE /gr. 42 cm/

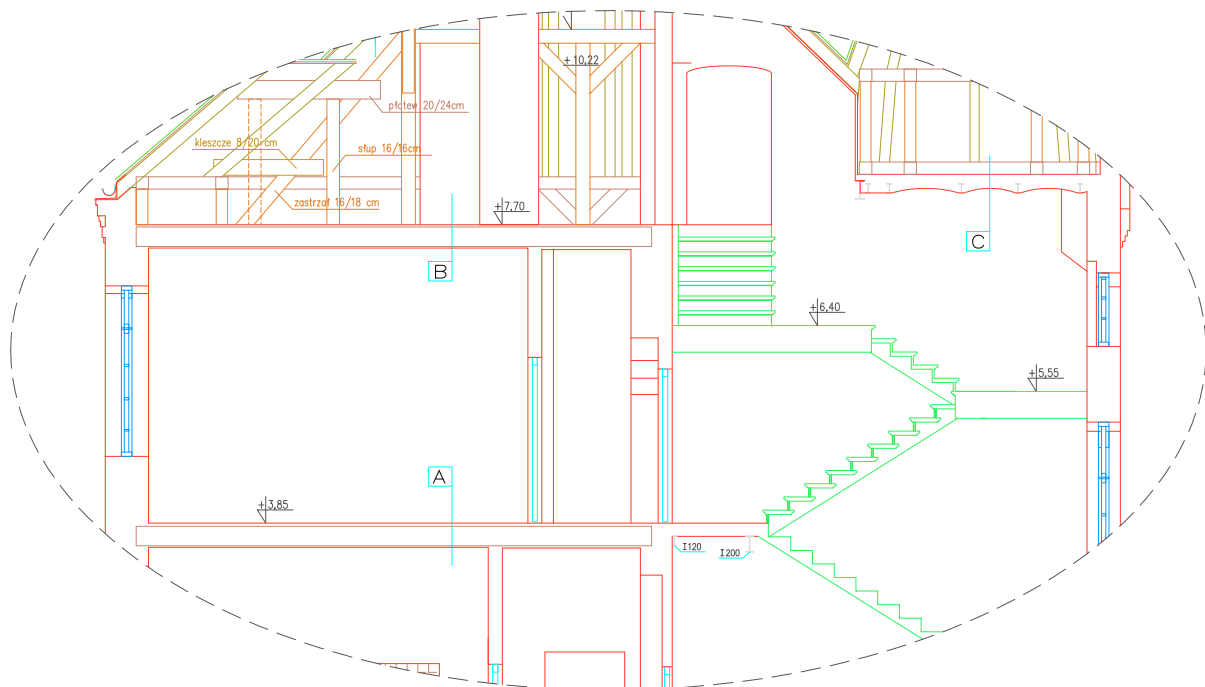


- deska /płyta OSB/ – 18 mm
- Wykonane ocieplenie – wełna mineralna gr. 100 mm
- Folia paroizolacyjna
- deska – 30 mm
- polepa gliniana – 11,5 mm
- deska – 30 mm
- pustka powietrzna – 11,5 cm
- siatka stalowa Rabitza
- tynk cementowo-wapienny 20 mm

**DETAL B**  
STROP POD POMIESZCZENIEM NIEOGRZEWANYM  
OCIEPLENIE AEROŻELEM /gr. 35 cm



- deska /płyta OSB/ – 18 mm
- Wykonane ocieplenie – AEROŻEL gr. 35 mm
- Folia paroizolacyjna
- deska – 30 mm
- polepa gliniana – 11,5 mm
- deska – 30 mm
- pustka powietrzna – 11,5 cm
- siatka stalowa Rabitza
- tynk cementowo-wapienny 20 mm





lub ekstrakcję nadkrytyczną. Kserożele i ambizele uzyskuje się poprzez suszenie wyparne a aerożele drogą procesu ekstrakcji nadkrytycznej, aby zachować strukturę stanu żelowego. Choć metody przygotowywania materiałów podobnych do aerożelu są przedstawiane jako metody z wykorzystaniem procesów suszenia przez odparowanie, takie materiały są jedynie podobne do aerożelu i mają większy skurcz oraz większą gęstość niż typowe, nadkrytycznie osuszone aerożele.

Organiczne/nieorganiczne aerożele hybrydowe można uważać za aerożele ORMOSIL (ORganically Modified SILica – Krzemionka Zmodyfikowana Organicznie). Typowo, ormosile uzyskuje się poprzez kohydrolizę i kondensację silanów zmodyfikowanych organicznie, takich jak R-Si(OR')<sub>3</sub> i prekursorów alkoksylanów Y(OR')<sub>4</sub>, gdzie OR' oznacza grupę alkoksylogową a Y oznacza metal. Grupa R w R-Si(OR')<sub>3</sub> może być każdą grupą organiczną, taką jak grupa metylowa, etylowa, propylowa, butylowa, izopropylowa, metakrylanowa, winylowa, itp. Składniki organiczne mogą być chemicznie związane z siecią krzemionki lub być rozproszone w całym materiale jako druga faza przenikająca. Nazwa „ormosil” obejmuje powyższe materiały a także inną ceramikę zmodyfikowaną organicznie, czasami oznaczaną skrótem „ormocers” (Organically Modified Ceramics). „Ormosils” są często stosowane jako powłoki, w których cienka warstewka „ormosil” jest wylewana na materiał podłożowy, na przykład w procesie żo-żel. Cienkie warstewki „ormosil” nie są klasyfikowane jako aerożel, ponieważ polimer nie jest ani żelowany, ani nadkrytycznie osuszany.

### Zastosowanie

Aerożele można również klasyfikować wg ich właściwości masowych. Aerożele monolityczne, kulkowe, cząsteczkowe, granulkowe, proszkowe, powłokowe i cienkowarstwowe są klasami tego materiału. Aerożele cienkowarstwowe można określić jako warstwę o grubości mniejszej od 100 nm, podczas gdy aerożele powłokowe są przeważnie grubsze i mogą mieć grubość kilku milimetrów. Na ogół, aerożele monolityczne posiadają więcej zalet w stosunku do cienkowarstwowych, proszkowych lub granulkowych, ponieważ mogą być użyte w szerokim zakresie zastosowań, w którym użycie aerożeli cienkowarstwowych lub granulkowych mogłoby być niepraktyczne. Na przykład, większość izolacji cieplnych, tłumienie dźwięku i zastosowania kinetyczne wymagają grubszego materiału izolacyjnego niż cienkie warstewki lub powłoki. Maty aerożelowe wzmocnione włóknem szklanym mają podobne właściwości izolacyjne do aerożeli monolitycznych, lecz są giętkie i mogą być instalowane w warstwach dla uzyskania grubości wymaganej dla danego zastosowania.

Aerożele są uważane za najlepsze stałe izolatory cieplne o przewodności cieplnej 10-15 mW/mK w temperaturze 100°F i są lepszymi izolatorami od najlepszych sztywnych pianek. Funkcjonują jako izolatory cieplne przede wszystkim dzięki temu, że minimalizują przewodnictwo, konwekcję i promieniowanie. W zależności od formy użytkowej, aerożele są znakomitymi izolatorami kriogenicznymi i mogą również dobrze funkcjonować w podwyższonych temperaturach do 550-650°C. W temperaturach powyżej 800°C, w aerożelach krzemionkowych rozpoczyna się proces spiekania oraz szybka utrata właściwości powierzchniowych i izolacyjnych, postępująca wraz ze wzrostem temperatury. Materiały aerożelowe posiadają również wiele innych, interesujących właściwości akustycznych, optycznych, mechanicznych i chemicznych, które czynią je ogromnie użytecznymi.

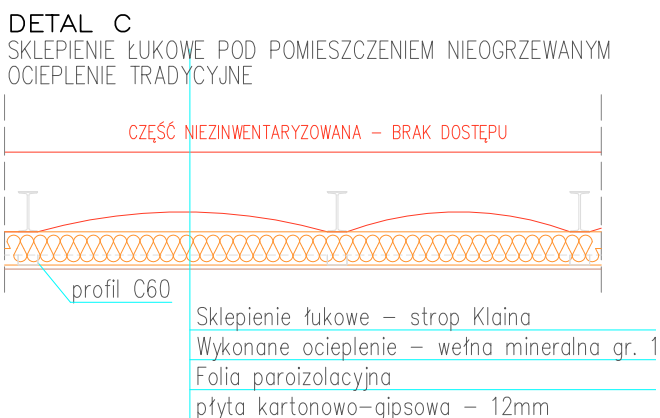
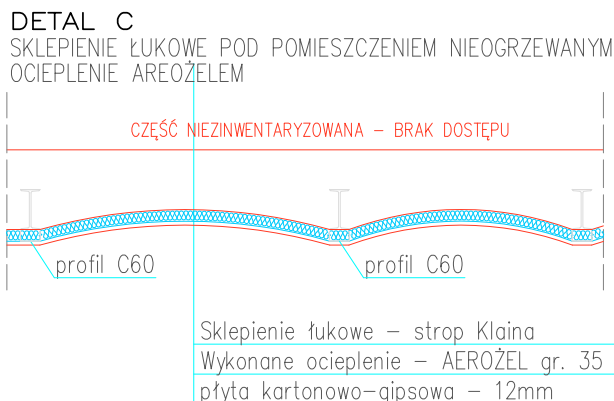
Powyższy tekst stanowi tłumaczenie artykułu opublikowanego w poprzednim numerze Buildera (s. 74-75).

**Tekst: Aspen Aerogels/Aerogels Poland Nanotechnology**

## Docieplenie stropu łukowego pod pomieszczeniem nieogrzewanym



JEDNYM ZE SPOSOBÓW UŁOŻENIA IZOLACJI TERMICZNEJ BEZ JEDNOCZESNEGO ZWIĘKSZANIA WYSOKOŚCI STROPU JEST DEMONTAŻ DESKOWANIA, USUNIĘCIE POLEPY GLINIANEJ, W MIEJSCIE KTÓREJ UŁOŻONA ZOSTANIE WEŁNA MINERALNA. ROZWIĄZANIE POWYŻSZE JEST KOSZTOWNE I CZASOCHŁONNE, A W PRZYPADKU STARYCH STROPÓW NIEKORZYSTNIE WPŁYWA NA STATYKĘ BUDYNKU.



Opracował: Piotr Werekxa, Dariusz Krakowski