

# Пределные нагрузки и трещиностойкость теплой керамики.

**WIENERBERGER. Тестирование блоков. Проверка прочности на сжатие изгиб, моделирование землетрясений. Применение теплой керамики в сейсмоопасных районах.**

31.01.2011 wdvs.ru

Dipl. Arh. Alexandr Zhukov

URM (unreinforced masonry) Одним из главных преимуществ кладки из поризованных керамических блоков является возможность отказаться от усиливающих железобетонных конструкций или армирования кладки как в случае с AAC (газобетон), тем самым обеспечить высокое сопротивление теплопередаче и добиться экономии металла.

Нелинейные деформации URM из Поротерма и недостаточная исследованность материала в России породили ряд спекуляций относительно несущих способностей и надежности таких кладок, особенно в сейсмоопасных регионах страны. Тем не менее, в рамках Eurocode 8 существует достаточно исследований, дающих исчерпывающую информацию относительно высокой надежности теплой керамики.

Описанные ниже тесты проводились для кладок из обычного поротерма и с использованием специальных блоков теплой керамики WIENERBERGER POROTHERM-S blocks для сейсмоопасных регионов.

1. Были проверены конструкции из Поротерма С согласно нормам Eurocode 8 путем симуляции целого спектра реально задокументированных землетрясений.
2. Были проведены циклические испытания на сдвиг под постоянными вертикальными нагрузками и нарастающими горизонтальными. Тестам подверглись построенные в ангаре из подвалы, выполненные из Поротерм С и железобетонных перекрытий. В результате этих тестов были определены параметры гистерезиса, погашения вибраций и пластичности.
3. Тесты на определение диагональных напряжений. Данные тесты необходимы для определения прочности на разрыв и сопротивление сдвигу кладки из блоков Поротерм. Полученные результаты были сравнены с показателями обычных блоков поротерм.
4. Тесты на сжатие кладки из поротерм на цементно-песчаном растворе.

Все вышеперечисленные тесты подтвердили особую прочность и надежность конструкций, выполненных из блоков поротерм С.

## Введение.

Первые здания, выполненные из керамики, датируются 4000 до нашей эры, Месопотамия. Большинство исторических зданий выполнено из керамического кирпича и существуют по сей день.

Тем не менее, современные крупноформатные поризованные блоки, выпускаемые в частности WIENERBERGER, нельзя сравнить с обычным полнотелым кирпичом. Хотя основной материал, из которого выполнены блоки, остался тем же. Теплую керамику можно рассматривать как hi-end

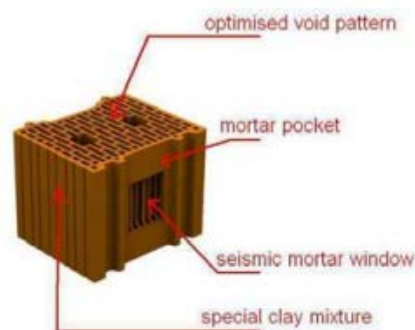
вариант кирпича , максимально адаптированный к современным требованиям по времени возведения конструкция и энергоэффективности. В отличие от кирпича только блоки теплой керамики могут одновременно обеспечить современные требования к механической устойчивости, сопротивлению теплопередаче, звукоизоляции и пожарной безопасности. Но современные нормы не стоят на месте и требования все более ужесточаются. Особенно высоки требования современных норм в сейсмоопасных регионах. Чтобы выполнить такие высокие требования по механическим нагрузкам требуются специальные блоки теплой керамики. WIENERBERGER создал и запатентовал специальные POROTHERM-S, где буква S аббревиатура «сейсмически стойкие».

Нелинейные процессы рассеивания энергии в кладке в результате землетрясения приводят к образованию трещин, постэластичная фаза . Для решения проблемы трещинообразования во-первых был разработан специальный кладочный раствор для шлифованных блоков поротерм, который позволяет делать тонкий горизонтальный шов. Дело в том, тонкий раствор наиболее уязвим во время землетрясения. Он является причиной растрескивания обычных блоков поротерм. Блоки поротерм С позволяют использовать большее количество кладочного цементно-песчанного раствора чем обычные блоки. Но мы прекрасно знаем, что классический цементно-песчаный раствор создает мостики холода в кладке. Таким образом там, где мы выигрываем в сейсмоустойчивости , мы проигрываем с сопротивлением теплопередаче кладки. Запатентованная конструкция блоков С позволила решить эту дилемму. Система С блоков Поротерм состоит из следующих компонентов:

- Специальный кладочный раствор, который отличается низкой теплопроводностью.
- Особая 3D конструкция блока , которая была создана в результате полигонных испытаний и симуляция методом конечных элементов.
- Специальный карман для раствора.
- Специальное окно в боковой стенке блока, повышающее трещиностойкость кладки.

  
**Wienerberger**  
Building Value

 **POROTHERM**



## Полевые исследования кладки Поротерм С.

Тесты на циклический сдвиг.

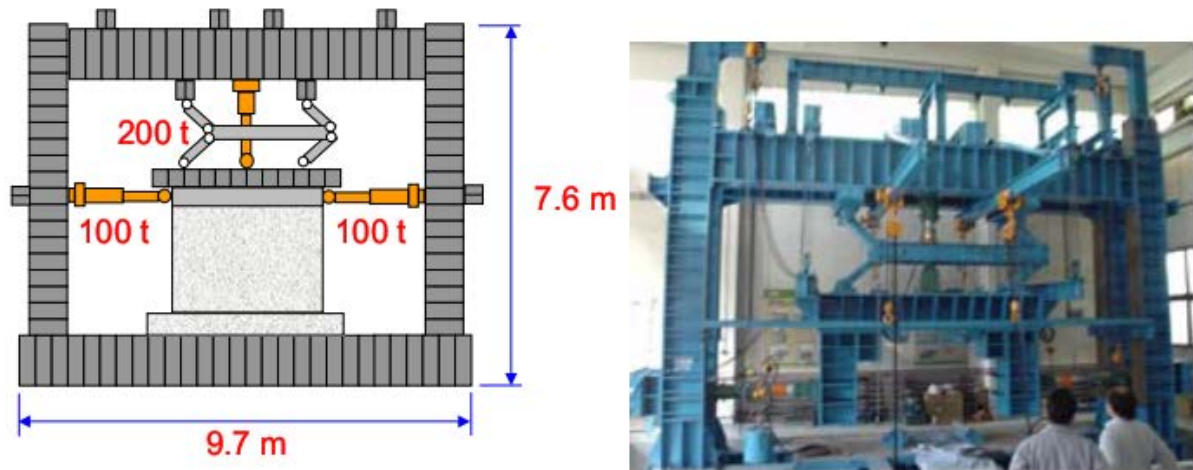


Figure 2 Reaction Frame

Нагружение началось с приложения нагрузки по вертикальной оси кладки с помощью гидравлического пресса. Усилие равномерно распределено по верхней горизонтальной поверхности кладки через пантограф. Благодаря пантографу исключается вращение верхней конструкции пресса. На втором этапе на кладку воздействуют циклические боковые силы вдоль зафиксированной горизонтальной оси. В ходе тестов фиксируются все неэластичные изменения в кладке (образование трещин). В конце тестов в каждом из направлений прилагается сила полностью разрушающая образцы кладки.

Далее, из блоков POROTHERM 30-S были построены несколько подвалов размером 250 x 175 x 30 см. Вертикальное сжатие составляло  $0.60 \text{ N/mm}^2$ , что соответствует нагрузки от трехэтажного строения размещенного над подвалом.

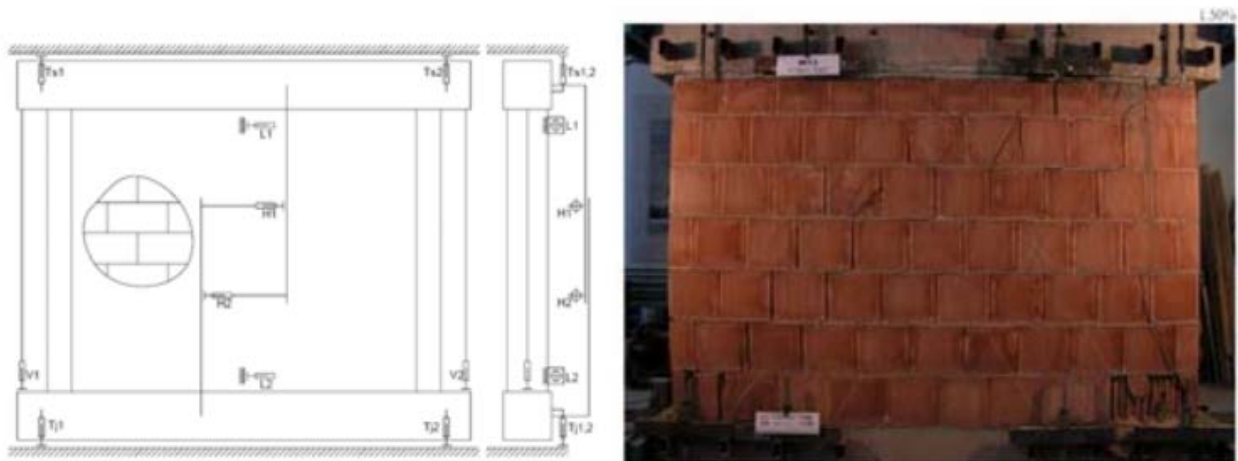


Figure 3 Instrumentation of LVTD's

Тестирование диагонально растягивающего напряжения.

Тестированию были подвергнуты как кладка из обычных блоков POROTHERM, так и из блоков POROTHERM-S. Для определения показателя  $f_t$  диагональный предел прочности на разрыв в обоих случаях был использован один и тот же кладочный раствор.

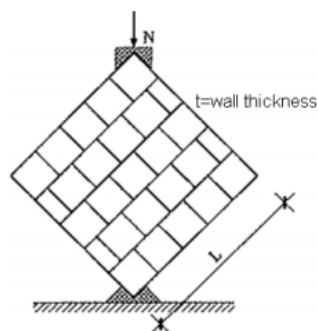


Figure 4 Diagonal tension strength

$$f_t = 0.45N / A \quad (A=L \times t) \quad (2.1)$$

Table 2.1 Results of diagonal tension strength

	<b>conventional blocks</b> [N/mm <sup>2</sup> ]	<b>POROTHERM S-blocks</b> [N/mm <sup>2</sup> ]
$f_t$	0.247	0.442
Difference		<b>+ 179 %</b>

#### Симуляция условий реально задокументированных землетрясений.

Программа симуляции снимала показатели динамического поведения кладки в результате симулируемых движений того или иного землетрясения из базы данных. Масса модели составила 35.34t , в включая массу прилагаемую к верхнему перекрытия 10.00t и массу основания. Чистая масса для определения инерции составила 28.34t. Частота с синусоидой колебаний  $f_1= 7.6$  Hz (поступательные) и  $f_2 = 14.7$  Hz (крутильные) .

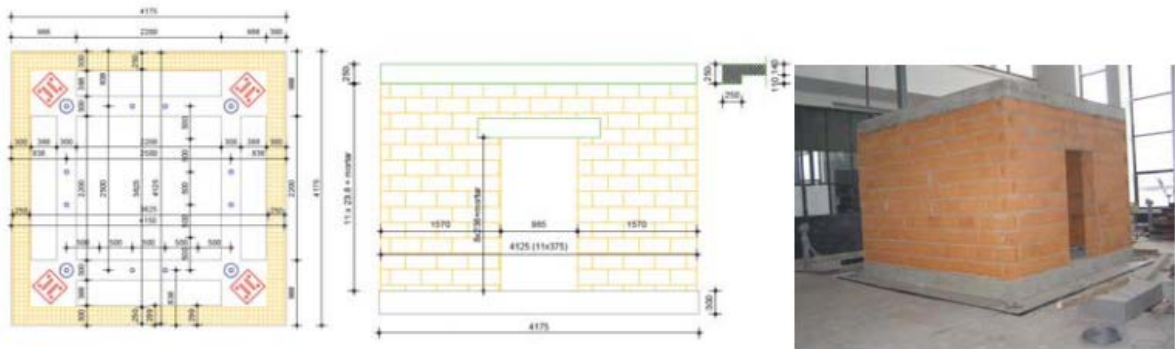


Figure 5 Model dimensions and picture

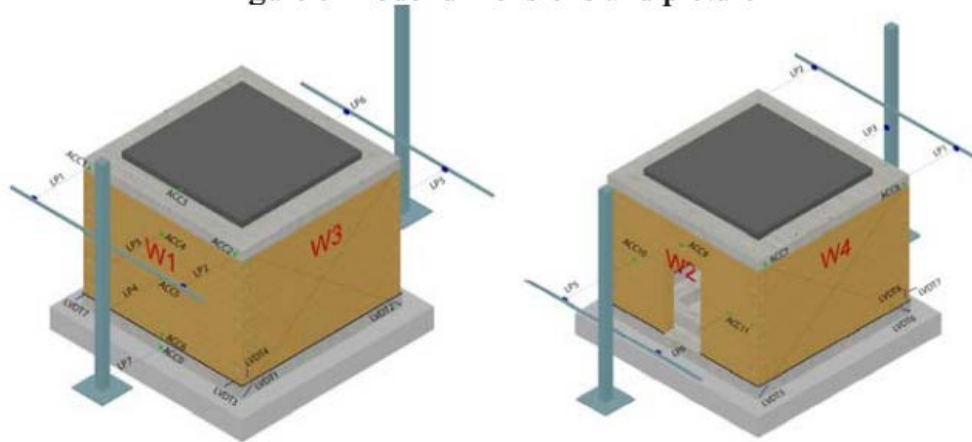


Figure 6 Indices and Instrumentation set up

В ходе тестов были смоделированы три исторических землетрясения Imperial Valley, El Centro 1940 года и Montenegro 1979 года с генерированием горизонтальных усилий согласно требований Eurocode 8. Искусственная сейсмограмма ускорений соответствовала первому типу магнитуды толчков  $a_g = 0.30g$ , тип грунта В. Наиболее высокое значение ускорения в горизонтальной проекции составляло приблизительно  $0.29g$ . Следует отметить, что это значение соответствует максимальному ускорения в горизонтальной проекции, достигнутому в ходе землетрясения Petrovac. Предельный уровень тестируемых ускорений достигал  $0.60g$ .

Вследствие того, что гидроизоляция, которая кладется на фундамент перед началом кладки, не была предварительно напаяна горелкой на битумный праймер, неизбежно должно было произойти горизонтальное скольжение всей конструкции подвала (Model 01) относительно плиты фундамента. Поэтому перед тестированием слой гидроизоляции между плитой фундамента и кладкой был подвергнут необходимой термической обработке (MODEL 01R). Меры против качательных движений, которые приподнимают конструкции, не принимались. В ходе симуляции тестировалась и MODEL 01 и MODEL 01R. MODEL 01R также была подвергнута сжатию вплоть до  $0.76g$ .

В результате тестов не было выявлено никаких перманентных изменений кладки MODEL 01, также не было выявлено ни малейших трещин. В MODEL 01R также не наблюдалось развитие новых трещин. При моделировании со сжатием наблюдалось появление трещин и во время теста и после. Так в MODEL 01 наряду с незначительными трещинами в некоторых блоках появились большие трещины в кладке на углах W3 и W4. Причиной этих трещин в основном стало относительное перемещение модели (соскальзывание в сторону) и приподнятия всей конструкции относительно плиты фундамента. В MODEL 01R после всех тестов по симуляции реальных землетрясений в некоторых

блоках образовались новые трещины, но при этом ни появилось ни одной большой трещины, которая, к примеру, могла бы повлиять на общую устойчивость здания, на потерю несущей способности кладки из Поротерма. Великолепный результат, учитывая что проводились тесты землетрясений высокой магнитуды (EL Centro and Petrovac) с ускорением до 0.76g!!! Другими словами обе модели выдержали как искусственные тесты Еврокода 8, так и симуляцию сильных реальных землетресений. Исследования показали, что после всех тестов собственная частота стены из кладки поротерм снизилась на 19% в MODEL 01 и на 8% в модели MODEL 01R.

### Проверка прочности на сжатие.

Кроме вышеописанных тестов были проведены отдельные тесты проверки прочности на сжатие кладки их блоков поротерм. Были использованы блоки и кладочный цементно-песчаный раствор согласно EN 772-1.

Сопротивление скалыванию при изгибе. Прочность при осевом растяжении.

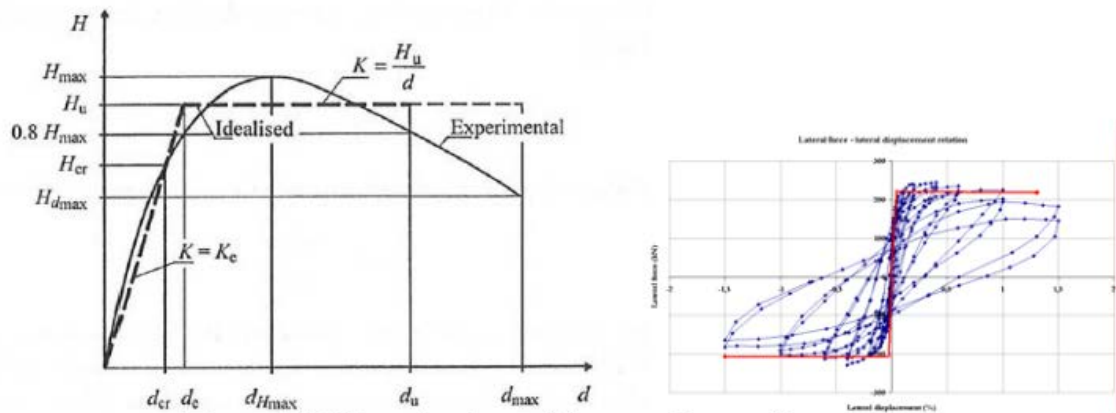


Figure 7 Bilinearization of the envelope of hysteresis

Была принята билинейная идеализация гистерезиса, поэтому значение  $H_u$  рассчитано исходя из предположения о равномерном рассеивании энергии в блоке. Идеализированный максимальный сдвиг  $d_u$  определяется как значение на пересечении идеализированной линии с кривой значений, полученных экспериментальным путем. Но не более  $0.80 H_{max}$ . для того чтобы обеспечить необходимый запас прочности конструкции.

$$\mu_u = \frac{d_u}{d_e} \quad (3.1)$$

Предел эластичности определяется как

$$d_e = \frac{H_u}{K_e} \quad (3.2)$$

Далее приведены экспериментальные данные, согласно приведенных выше циклических тестов (параметры стены 250 x 175 x 30 cm).

	Units	Test 1		Test 2	
Test Date		22 <sup>nd</sup> March, 2007		17 <sup>th</sup> May, 2007	
Mortar: $f_m$	[N/mm <sup>2</sup> ]	4.69		6.03	
Block: $f_b$	[N/mm <sup>2</sup> ]	11.80		11.80	
Vert. compr.	[N/mm <sup>2</sup> ]	0.60		0.60	
		POSITIVE	NEGATIVE	POSITIVE	NEGATIVE
$d_{max}$	[‰]	6.00	6.00	7.99	5.64
$d_{cr}$	[‰]	0.46	0.46	0.38	0.39
$d_{u (at 0.8 H_{i,max})}$	[‰]	10.00	10.00	10.02	10.09
$d_e$	[‰]	0.62	0.64	0.58	0.45
$\mu_u$	[ ]	16.19	15.52	17.14	22.53
$\mu_{u,median}$	[ ]	15.86		19.84	

### 3.2. Evaluation of Ductility of Structures

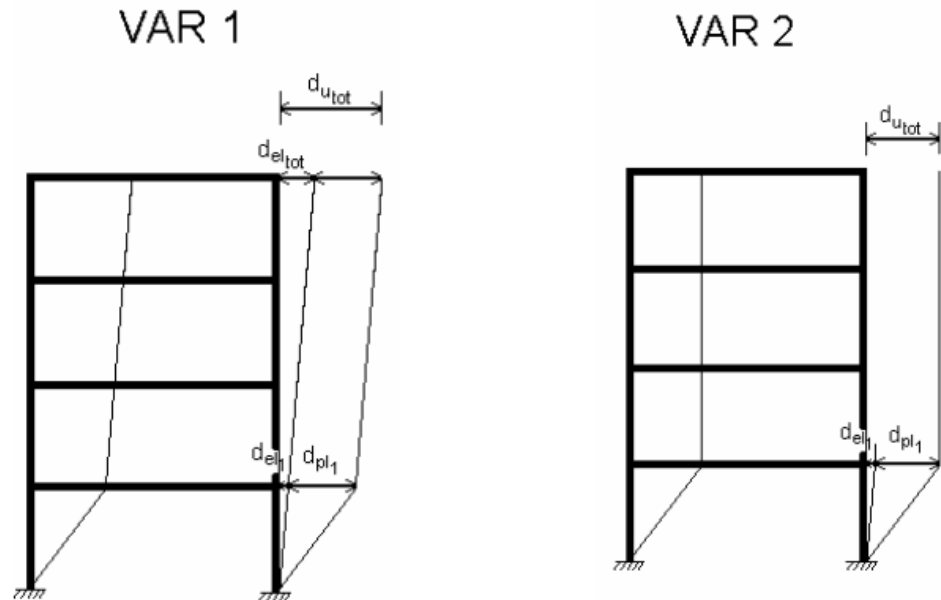


Figure 8 Structural ductility factors (left, VAR1); (right, VAR2)

Были рассмотрены два граничных условия так что конкретное значение эластичности может быть представлено как средние из двух предельных вариантов. С случае первого варианта (VAR 1) происходят пластические и эластичные деформации на уровне пола и эластичные деформации этажей. Таким образом, структурный фактор эластичности можно записать как :

$$\mu_{structure} = \frac{d_u}{d_e} = \frac{\mu_{1stfloor} - 1}{k \cdot n} + 1 \quad (3.3)$$

$$k=1 \dots n \leq 2;$$

$$k=2/3 \dots n > 2.$$

Где n это общее количество этажей с железобетонными перекрытиями и стенами из поротерма. Во втором рассматриваемом предельном варианте (VAR 2) , также происходят эластичные и пластичные деформации на уровне пола, но при этом верхние этажи не испытывают никаких деформаций (экстремальные идеализированные условия). Поэтому общая структурная пластичность может быть ограничена лишь первым этажом.

$$\mu_{structure} = \mu_{1stfloor} \tag{3.4}$$

Table 3.2 Evaluation of ductility of cyclic shear tests

	Storey	Test 1	Test 2
$\mu_{var 1}$	1	15.86	19.83
	2	8.43	10.42
	3	8.43	10.42
	4	6.57	8.06
	5	5.46	6.65
$\mu_{var 2}$	n	15.86	19.83
$\mu_{mean}$		12.15	15.13

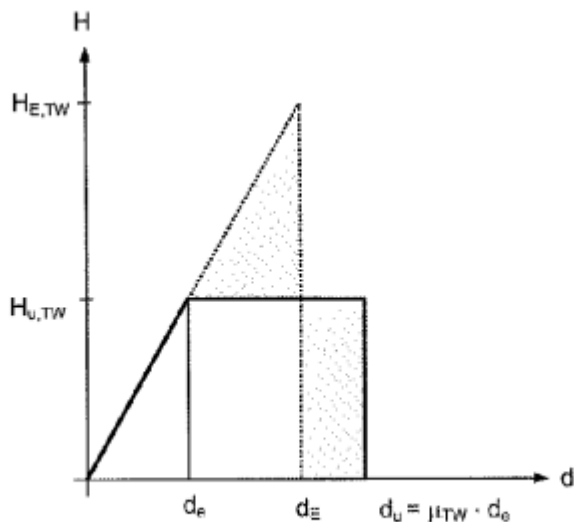


Figure 9 Structural behaviour factors

$$q_{structure} = \sqrt{2 \cdot \mu_{structure} - 1}$$

Table 3.3 Evaluation of pure behavior factors,  $q_0$

	Test 1	Test 2
$q_{structure} = q_0$	4.83	5.41

### 3.3.2 Overstrength values (OSR-value)

- OSR 1 предельная прочность структурного элемента получается либо из значений квантилей (95% прочности и 5% кватиля). Либо исходя из резервов прочности самого материала. Т.е. мы принимали биленийный гистезис –  $N_u = 0.9 \times N_{max}$ . Проще говоря, поправочный коэффициент составит 0.9.
- OSR 2 Согласно Eurocode 8 предельная прочность структурного элемента

$OSR\ 2 = \alpha_u / \alpha_1$  Зависит от конкретной конфигурации конструкции кладки. В обычной кладке OSR2 равен пример 1.40.

- q-value. Структурный фактор поведения конструкции. Рассчитывается по формулам, приведенным выше. Среди них находиться чистый фактор  $q_0$  т.е. без учета предельной прочности. Таким образом, учитывая значения OSR :

$$OSR_{total} = OSR\ 1 \times OSR\ 2 = 1.10 \times 1.40 = 1.54. \quad (3.6)$$

из формулы видно, что q values принятые ранее дают огромный запас прочности. Поэтому с учетом надежности получаем  $OSR = 1.54$ . Полученные значения для блоков WIENERBERGER POROTHERM-S

$$q = OSR_{total} \times q_0 \quad (3.7)$$

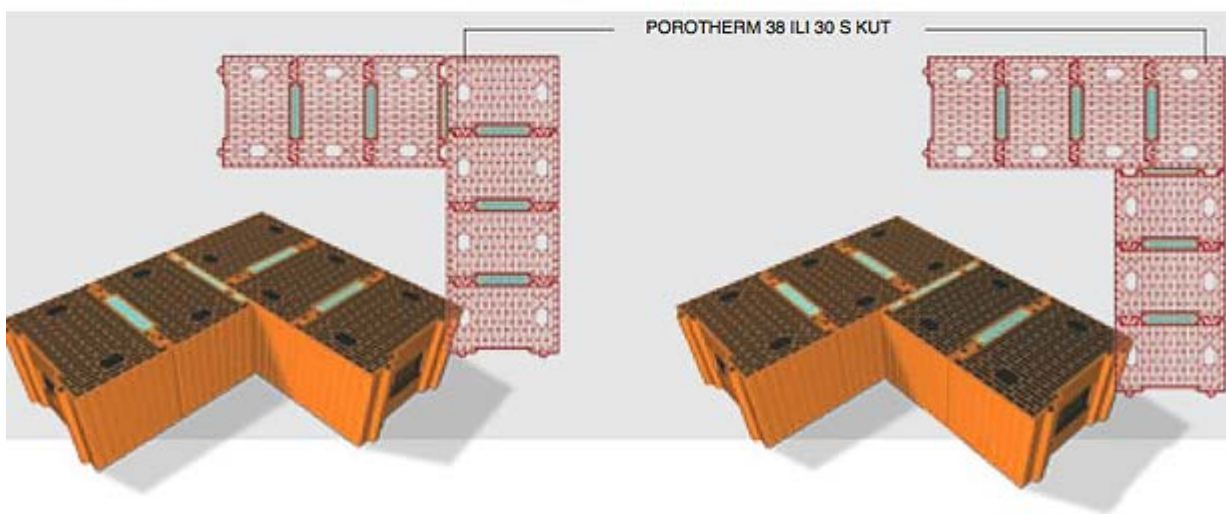
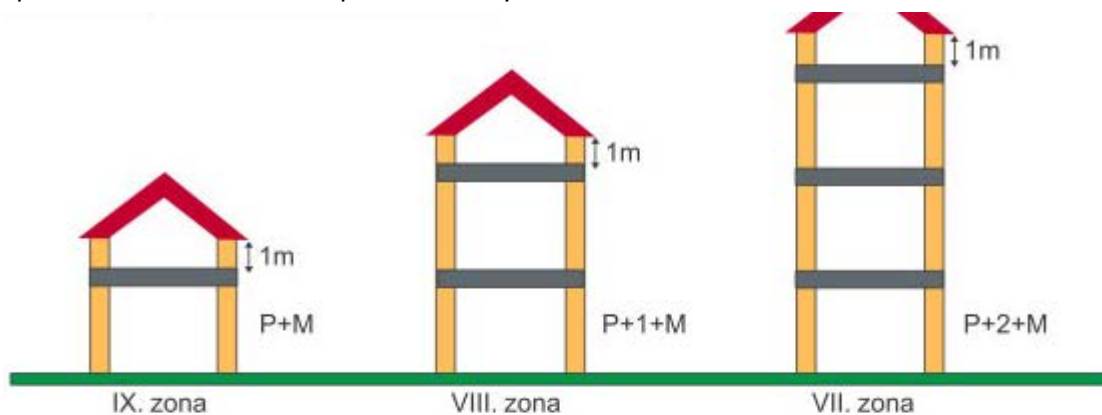
Table 3.4 overall behavior factors, q for POROTHERM S-blocks

	Test 1	Test 2
q	7.44	8.33

### Выводы .

Теплая керамика обычной конфигурации блоков, а также специально запатентованной для сейсмоопасных районов прошла ряд испытаний. По результатам всех исследований и тестов установлено, что WIENERBERGER POROTHERM-S предоставляют идеальное решение кладки в сейсмоопасных районах. Кладка без усиления может выдержать землетрясения вплоть до 0.74g. Данные блоки поротерм обеспечивают не только требуемую надежность, но и соответствуют нормативам по сопротивлению теплопередаче. В особо сейсмоопасных районах желательно использовать теплый кладочный раствор и вертикальное усиление кладки по углам здания.

Применение блоков без вертикального усиления.



Применение вертикального усиления в сейсмоопасных районах.

В качестве вертикального усиления выступают пустотелые блоки из керамзитобетона, в которых устанавливается армирование. Блоки армирования располагаются по всем углам здания.



Пример вертикального усиления внутренних углов.



Т.к. блоки керамзитобетона, залитые бетоном, создают мостики холода они непременно должны быть дополнительно утеплены. Расчет толщины утеплителя зависит от места застройки и, соответственно, нормативного значения сопротивления теплопередаче. С учетом изогнутой изотермы диффузии тепла в углах помещений. Стандартная толщина блока усиления 25 см. Пример выполнения утепления внешнего угла при использовании блока поротерм 38 см.



Утепление усиления в области дверного проема.



1. Suikai Lu and Martin Kasa (2007) *SEISMIC TEST PROGRAM OF SPECIAL DESIGNED CLAY BLOCKS DUE TO EARTHQUAKE RESISTANCE BY WIENERBERGER CONSISTING REAL SCALE SHAKING TABLE-, CYCLIC SHEAR-, DIAGONAL TENSION AND COMPRESSION TESTS*
2. Chopra, A.K. (2001). Dynamics of Structures