

text
Frank van der Hoeven
Alexander Wandl

Сегодня городской остров тепла считается одним из важнейших вопросов здравоохранения, требующих незамедлительного решения. В рамках исследовательского проекта «Хоттердам» проводится изучение острова тепла в Роттердаме, чтобы объяснить связь между здоровьем населения и теми характеристиками городской среды, которые делают климат теплее или холоднее. В результате проведенной работы были созданы две тепловые карты, которые позволяют жителям города получить информацию о влиянии тепловых волн на здоровье и снизить зависимость от высоких температур. Ценная информация о городском острове тепла, полученная в результате осуществления этого проекта, имеет отношение и к другим городам Нидерландов (Амстердаму, Гааге) и за рубежом. **Ключевые слова:** городское тепло, приземной тепловой поток, градостроительное проектирование, пространственное планирование, адаптация к изменениям климата, Роттердам. /

The urban heat island is considered to be one of the contemporary health aspects that cities urgently need to respond to. The Hotterdam research project addresses the Rotterdam urban heat island, in order to explain the links between the health of the city's population and the features of its built environment that make it more or rather less warm. The work resulted in two heat maps that make the city of Rotterdam and its inhabitants more aware of and less susceptible to the health effects of heat waves. The insights into the urban heat island that were gained in this project are relevant for other cities in Holland (Amsterdam, The Hague) and abroad.

Keywords: urban heat island; ground heat flux; urban design; spatial planning; built environment; climate adaptation; Rotterdam.

«Хоттердам»: создание карты городского острова тепла /

текст
Франк ван дер Хуверн
Александр Вандл

Почему тепло?

Воздействие тепла, особенно в городской местности, изучено недостаточно. Каждый раз, когда дело касается тепла и климата, внимание СМИ фокусируется на потеплении климата Земли в целом и на обсуждении вопроса о возможном повышении температуры на пару градусов Цельсия. Но мало кто знает, что температура внутри городского района иногда может превышать температуру за его пределами до десяти градусов или что в течение нескольких часов температура внутри домов может быть выше, чем на улице. Тот факт, что пожилые люди чаще, чем обычно, умирают именно в период аномально высоких температур, также малоизвестен либо кажется неправдоподобным.

Метеорологические институты, такие как Королевский метеорологический институт Нидерландов, предпочитают производить измерения за пределами городов, на безопасном расстоянии от застроенных территорий, поскольку здания могут повлиять на показания приборов. Однако из-за того, что эти замеры производятся там, где никто не живет, мы знаем очень мало о возможных рисках, которым подвергаются горожане в связи с изменением климата, или о локальных и прочих воздействиях тепла.

В сложившихся обстоятельствах проект «Хоттердам» (от англ. hot – горячий и Rotterdam – Роттердам) занимается изучением проблем, связанных с повышением температуры в отдельно взятом городе, чтобы обозначить связь между климатом и застроенной средой. За основу берется понимание того, что климат внутри города отличается от климата за его пределами и в то же время не перестает играть ключевую роль в состоянии здоровья горожан, в данном случае жителей Роттердама.

Тепло в городе будущего

В 2014 году Королевский метеорологический институт Нидерландов (КМИН) опубликовал новые сценарии будущего развития климата Нидерландов. Они содержат прогнозы на 2050 и 2085 годы. На основе четырех сценариев КМИН предсказывает рост количества жарких летних дней и вероятности тепловых волн. Жаркое лето, подобное лету 2006 года, станет скорее правилом, нежели исключением. Но произойдут и другие изменения. В Нидерландах ожидается значительный рост численности

пожилых людей. Через 20 лет более четверти населения будет в возрасте старше 65 лет, а ведь именно эта группа населения особо чувствительна к жаркой погоде.

Жара в Париже в августе 2003 года

Аномальная жара, которая посетила Европу в августе 2003 года, окончательно убедила нас в том, что наше общество очень чувствительно к жаркой погоде. Гуманитарная катастрофа, произошедшая тем летом в Париже, произвела одинаковое впечатление как на экспертов и политиков, так и на широкую публику. Бедствие случилось в начале августа 2003 года, охватив главным образом лиц пожилого возраста. Обычно в Париже ежедневно умирает от 30 до 50 человек. Во время тепловой волны в первые две недели августа 2003 года это количество резко возросло, достигнув пика в более чем 400 человек. Позднее подсчитали, что в этот период во Франции из-за жары умерло 14 800 человек (Dhainaut, Claessens, Ginsburg, & Riou, 2004). В результате провели большой объем исследований с целью определить связь между тепловой волной, островом тепла в Париже и, в частности, смертью пожилых людей. Один из таких исследовательских проектов (Dousset & Gourmelon, 2011) дал возможность установить важную связь между смертью пожилых людей и островом тепла, особенно в ночное время. Участники другого проекта (Vandentorren, Bretin, Zeghnoun, Mandereau-Bruno, Croisier, Cochet, ... Ledrans, 2006) доказали, что определенная группа людей пожилого возраста была в большей степени подвержена риску, нежели остальные. В период аномально высоких температур 2003 года в Париже чаще всего смерть наступала у пожилых людей, которые были прикованы к постели, страдали от сердечнососудистых или неврологических заболеваний, а также у тех, кто жил в старых зданиях с плохой изоляцией, на территориях с сильным воздействием острова тепла или у тех, чья спальня находилась непосредственно под крышей. В то же время, пожилые люди имели больше шансов выжить, если они носили более легкую одежду, пользовались вентиляторами или кондиционерами и заботились о своем здоровье (открывали окна, если на улице было прохладнее, пили достаточное количество воды).

Why heat?

The effects of heat, and especially heat in urban areas, are more or less unknown. Whenever any (media) attention is given to heat and climate, it focuses on the warming of the earth as a whole, and the question of whether that process will amount to more or less than two degrees Celsius. But few of us know that the temperature inside urban areas is sometimes already ten degrees Celsius higher than outside their limits, or that for long periods of the day, the temperature inside homes is warmer than out on the street. The fact that more elderly people die during heat waves than usual is not widely known and some do not even believe it.

It does not help that meteorological institutes, such as the Royal Netherlands Meteorological Institute (KNMI), prefer to measure weather outside cities, at a safe distance from built-up areas. Buildings may influence the readings, but because they are taken where nobody lives, we know little about the exposure of city dwellers to a changing urban climate, or about the local and other effects of heat.

In this context, Hotterdam investigates the heat related problems in a specific city in order to outline the links between the climate and

the built environment. We do so on the basis of the realisation that the climate within a city behaves differently to outside, while that same urban climate continue to play a key part in the well-being of the city's residents: Rotterdam in this case.

Heat in the city of tomorrow

In 2014, the Royal Netherlands Meteorological Institute (KNMI) published new scenarios for how the climate in the Netherlands will develop in future. The scenarios contain predictions for the years 2050 and 2085. Using four scenarios, the KNMI predicts that the number of hot summer days will increase, as will the likelihood of heat waves. Hot summers like the one in 2006 will become more the rule than the exception. But there are other changes too. The population forecast for the Netherlands is for a considerable rise in the number of old people. In 20 years, more than a quarter of the population will be over 65, and it is precisely this group that is vulnerable to (urban) heat.

Heat in Paris, August 2003

The heat wave that affected Europe in August 2003 made it painfully clear that as a society, we are vulnerable to warm weather. If there

Hotterdam, mapping the Rotterdam urban heat island

Воздействие тепловой волны в Роттердаме в июле 2006 года

Аномально высокие температуры 2003 года, которые имели сильнейшее воздействие на Францию, лишь в небольшой степени повлияли на показатели уровня смертности среди пожилых людей в Роттердаме. Лето 2003 года в Роттердаме было не таким жарким, однако три года спустя многое изменилось. В июле 2006 года было зафиксировано две тепловые волны, последовавшие друг за другом. Этот месяц стал самым жарким в Голландии за последние 300 лет. Согласно статистике, в Нидерландах в июле 2006 года показатель смертности превысил средний показатель июля на тысячу человек. Большинство смертей произошло на западе страны. Кроме того, голландские статистики определили, что смерть чаще всего наступала спустя два дня после температурного пика. Таким образом, имея тысячу смертельных случаев в результате двух тепловых волн, Нидерланды оказались на четвертом месте в рейтинге мировых природных катастроф 2006 года по количеству смертельных исходов. Этот рейтинг проводит Центр исследований эпидемиологии стихийных бедствий.

Ни в каком другом месяце, кроме июля 2006 года, не был зафиксирован такой высокий показатель средней температуры воздуха в Роттердаме (27,8°C) и такой высокий процент смертности среди городского населения в возрасте 75 лет и старше. Основываясь на информации, предоставленной городским советом Роттердама, мы установили, что в июле 2006 года среди лиц старше 75 лет было зафиксировано на 75 смертей больше среднего показателя за период с 2000 по 2013 год. Средний национальный показатель был удвоен.

Городской остров тепла

Тепловая волна, которая пришла в Россию в 2010 году, была менее изучена, чем западноевропейские волны 2003 и 2006 годов, однако имела не менее разрушающую силу. Согласно данным Министерства экономического развития, в июле и августе 2010 года в стране умерло примерно на 56 000 человек больше, чем в 2009 году (Barriopedro, Fischer, Luterbacher, Trigo, & García-Herrera, 2011). Жаркая погода в городе представляет собой

реальную опасность и напрямую связана с решением одного из пяти важнейших вопросов, касающихся здоровья горожан и стоящих на повестке дня: управление очисткой и отведением сточных вод; строительные стандарты, тепловой комфорт и качество воздуха в помещениях; транспортное обслуживание, мобильность и физическая активность; эффект городского острова тепла; городское производство продуктов питания (Rydin, Bleahu, Davies, Dávila, Friel, De Grandis, ... & Wilson, 2012).

Остров тепла — это зона, внутри которой температурные показатели выше, чем на окружающей ее территории (Greater London Authority, 2006). Когда остров тепла присутствует в городе, мы называем его городским островом тепла. В Роттердаме такой остров тепла оказывает четко выраженное влияние.

Температура поверхности почвы и температура воздуха

Если рассматривать городской остров тепла, то температура в городе превышает температуру сельской или природной среды. В данном вопросе при использовании терминов иногда возникает путаница. Имеется ли в виду температура воздуха или температура поверхности почвы? Большая разница температур на поверхности земли чаще всего возникает в дневное время при солнечном свете. Разница температур воздуха между городом и окрестностями формируется вечером, после захода солнца. Остров тепла в дневное время (температура поверхности почвы) является причиной ночного острова тепла (температура воздуха). В дневное время почва, поверхностные воды и застроенная территория нагреваются. Затем жара выделяется ночью. В результате тепло в городе задерживается на длительное время вечером и ночью.

Баланс поверхностной энергии

Жара, которую мы ощущаем в городе, является продуктом того, что мы называем балансом поверхностной энергии. Баланс поверхностной энергии основывается на принципе сохранения энергии. Это означает, что чистая энергия, которую получает от солнца поверхность земли в городе (чистое солнечное излучение) равна количеству энергии

was one situation that summer that made an impression on experts, politicians and the public alike, it was the humanitarian disaster in Paris, France. It occurred in early August 2003, and mainly affected the elderly. Usually, around 30 to 50 people die every day in Paris. During the heat wave in the first two weeks of August 2003, that number rose sharply, peaking at more than 400. It was later established that 14,800 people died in France during this period as a result of the heat (Dhainaut, Claessens, Ginsburg, & Riou, 2004). A fair amount of research was subsequently carried out into the link between the heat wave, the Paris heat island, and the deaths of the elderly in particular. One such research project (Dousset & Gourmelon, 2011) suggested that there was an important link between the deaths of older people and the nightly heat island. Another project (Vandentorren, Bretin, Zeghoun, Mandereau-Bruno, Croisier, Cochet, ... Ledrans, 2006) showed that certain elderly people were at greater risk than others. During the 2003 heat wave in Paris, the elderly who died tended to be those who were bedridden, had cardiovascular disease or neurological conditions, but also those who lived in old buildings with poor insulation, in areas with a strong heat island effect, or who slept in a bedroom immediately

under the roof. By contrast, older people had a lower chance of dying if they wore lighter clothing, if they used cooling equipment (ventilators or air-conditioning), and if they acted carefully (e.g. by opening windows when it was cooler outside, or by drinking enough water).

Impact of the July 2006 heat wave in Rotterdam

The heat wave that affected France so terribly in 2003 had only little effect on mortality rates of the elderly in Rotterdam. It was simply not that hot in Rotterdam during that summer. Three years later, things were much different. In July 2006, there were two heat waves in quick succession. That month went down in Dutch history as the hottest in 300 years. Statistics Netherlands determined that 1,000 more people died in the Netherlands in July 2006 than in an average July. Most deaths occurred in the west of the country. In this context, Statistics Netherlands also demonstrated the link between the peaks in temperature and deaths has a time lag of two days. With these 1,000 deaths as a result of the two heat waves, the Netherlands found itself in fourth place in the world natural disaster rankings in 2006, measured by the number of fatal victims. This list is maintained by the Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED).

в тепловых процессах, протекающих в городе, таких как нагревание воздуха путем конвекции (явная теплота), испарение воды и транспирация деревьев и растений (скрытая теплота), а также поглощение тепла землей, зданиями и поверхностной водой (приземной тепловой поток) (Hartman, 2003). Баланс поверхностной энергии можно выразить через формулу:

$$Q^* = QE + QH + QS,$$

где Q^* = чистое солнечное излучение, полученное поверхностью земли, QE = энергия, потребляемая при испарении (воды и растений), QH = явная теплота (переход тепла от поверхности земли в воздух), QS = энергия, поглощенная водой, зданиями и поверхностной водой.

Исследовательские вопросы

Мы начали работу над проектом «Хоттердам» с определения масштабов проблемы, связанной с высокими температурами в Роттердаме, и попытались ответить на вопрос: какие районы Роттердама подвержены самому сильному влиянию городского острова тепла?

Следующий вопрос – действительно ли горожане страдают от вредных последствий городского тепла и есть ли связь между жаркой погодой в Роттердаме и здоровьем людей, если принять во внимание рост уровня смертности среди лиц старше 75 лет?

Если предположить, что в зависимости от того или иного района Роттердама показатели температур и состояния здоровья будут различны, то возникает вопрос: можно ли различие температур в разных районах Роттердама объяснить с точки зрения социальных и физических качеств города?

Методы – измерение, анализ и картографирование

Проекту «Хоттердам» предшествовал проект «Амстерварм» (от англ. Amsterdam – Амстердам и warm – теплый), в котором мы изучали городской остров тепла в Амстердаме. Проект «Хоттердам» основывается на методологии, разработанной предыдущим проектом (van der Hoeven & Wandl, 2015a), а также на других исследовательских

> Городской остров тепла, графика Франка ван дер Хувена / Urban heat island, graphic by Frank van der Hoeven



There was no other month with such a high average temperature in Rotterdam (27.8°C) than July 2006 and there was no other month with such a high mortality rate among those aged 75 and over in the city. Based on information provided by the Rotterdam city council, we established that there were 75 extra deaths among those aged 75 and over in July 2006 compared to the average over the period 2000–2013. This was twice the national average.

Urban heat island

The heat wave that struck Russia in 2010 received less coverage than the Western European heat waves of 2003 and 2006 but was just as devastating. According to the Economic Development Ministry nearly 56,000 people died across the country during the months July and August 2010, compared to 2009 (Barriopedro, Fischer, Luterbacher, Trigo, & García-Herrera, 2011). Urban heat is a real risk and poses one of the five key urban health challenges in the (near) future that need to be tackled: Sanitation and wastewater management; Building standards, thermal comfort, and indoor air quality; Transportation, mobility, and physical activity; The urban heat island effect; and Urban food production (Rydin, Bleahu, Davies, Dávila, Friel, De Grandis, ... & Wilson, 2012).

A heat island is an area where the temperature is higher than in the surrounding area (Greater London Authority, 2006). When heat islands are generated by cities, we term this an urban heat island. Rotterdam clearly has an urban heat island effect.

Surface temperature and air temperature

In the case of urban heat islands, the temperature in the city is higher than in a rural or natural environment. Here, there is sometimes confusion regarding the terms used. Is it the air temperature that is being referred to, or the land surface temperature? Large differences in temperature on the earth's surface occur mostly in the daytime, when the sun is shining. Differences in air temperature between cities and the surrounding area arise in the evening, after sunset. The heat island in the daytime (land surface temperature) is what causes the heat island at night (air temperature). In the daytime, the ground, surface water and the built-up areas heat up. The heat is then released at night. As a result, it stays warm for longer in the city in the evening and at night.

Surface energy balance

The heat we experience in a city is the product of what is known as the surface energy balance. The surface energy balance is based on

проектах, таких как изучение городского тепла в Тренто (Daniele, 2010).

Исследовательский проект «Хоттердам» охватывает три ключевых вопроса: городское тепло, социальные факторы и физические факторы. Городское тепло и баланс поверхностной энергии были определены с использованием дистанционного и коллективного зондирования. Социальные и физические факторы были установлены при помощи спутниковых снимков, трехмерной модели и модели ГИС.

Связь городского тепла и баланса поверхностной энергии с социально-физическими факторами определялась посредством анализа многопараметрической регрессии. Наиболее важные социальные и физические факторы были затем сгруппированы и включены в социально-физические тепловые карты. Тепловые карты и ключевые данные помогают понять механизмы воздействия тепловых волн на жителей Роттердама. Основываясь на полученных результатах, мы описали наиболее важные меры, которые могут предпринять владельцы жилья (частные лица, товарищества жильцов или компании) и городской совет, чтобы улучшить качество жилья и адаптировать застроенную городскую среду к жаркой погоде. Публичный вариант доклада по проекту «Хоттердам» был опубликован в открытом доступе с целью максимального распространения результатов исследования на голландском (van der Hoeven & Wandl, 2015b) и английском (van der Hoeven & Wandl, 2015c) языках.

Атлас

Все полученные данные были собраны в атлас. Карты атласа были составлены при помощи географической информационной системы ArcGIS. Все карты составлялись на основе гектарной сетки. Числовые значения (например, 23% поверхностной воды или 3 часа затененности) были определены для каждой клетки (или пикселя) сетки соответственно социальным и физическим характеристикам Роттердама. В процессе составления атласа использовались три источника: спутниковые снимки, данные ГИС и трехмерные модели. Атлас состоит из теплового, социального и физического разделов.



red means hot or reason for concern, blue means good or positive

< Обзор карт, помогающих объяснить принцип воздействия острова тепла Роттердама: скрытая теплота, явная теплота, население 75 лет и старше, возраст зданий, герметичность, зеленая растительность, оболочка здания, поверхностная вода и тень / Overview of the maps that were used to explain the workings of the Rotterdam urban heat island: latent heat, sensible heat, people aged 75 and over, age of buildings, imperviousness, foliage, building envelope, surface water, and shadow.

Тепловой фактор

Для того чтобы произвести пространственное измерение тепла в Роттердаме, были взяты три показателя: температура поверхности земли, температура наружного воздуха и температура воздуха в помещении. Для определения температуры поверхности земли использовалось дистанционное зондирование. Ночная температура наружного воздуха и воздуха внутри помещения измерялась при помощи коллективного зондирования. Баланс поверхностной энергии моделировался программой дистанционного зондирования ATCOR 2. Показатели температуры воздуха, температуры поверхности земли и энергетического баланса указывают на ярко выраженный эффект теплового

the principle that energy is not lost. This means that the net energy that the surface of a city receives from the sun (net solar radiation) is equal to the energy that passes through the heat processes that take place in the city, such as the heating of the air through convection (sensible heat), the evaporation of water and transpiration through trees and plants (latent heat), and the absorption of heat in the ground, buildings, and surface water (ground heat flux), (Harman, 2003). As a formula, the surface energy balance is expressed as follows:

$Q^* = QE + QH + QS$
 Q^* = Net solar radiation received by the earth's surface
 QE = Energy consumed through evaporation (by water and greenery)
 QH = Sensible heat (conversion of heat from surface to air)
 QS = Energy absorbed by the ground, buildings and surface water

Research questions

We started the Hotterdam project by establishing the (spatial) extent of the heat problems in Rotterdam: Which areas of Rotterdam experience the urban heat island effect most strongly?

The next question was whether the inhabitants of the city really

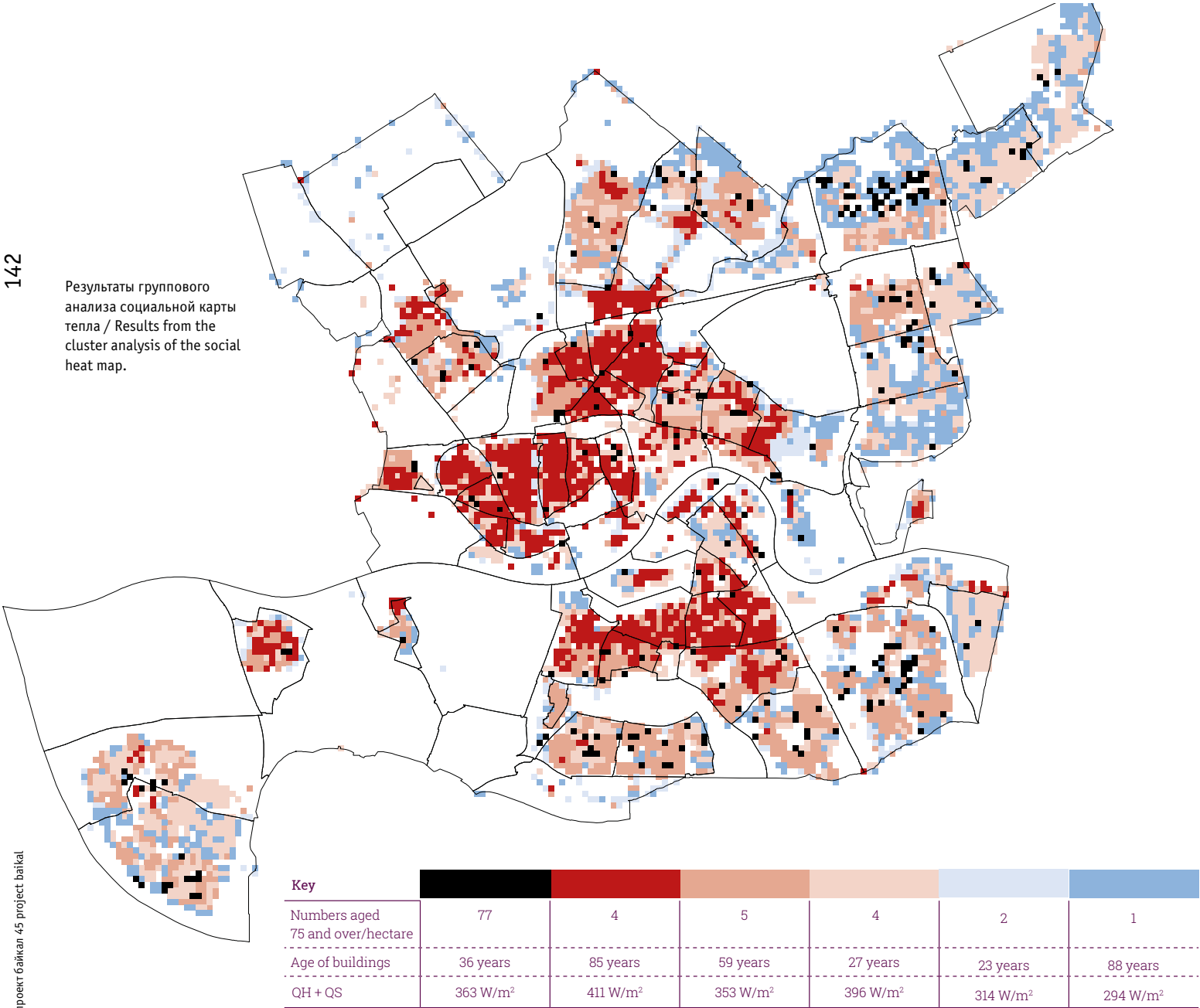
do suffer harmful consequences from the urban heat: Is there a link between the heat problems in the city of Rotterdam and public health, in relation to the increased levels of mortality among those aged 75 and over?

Assuming that there are differences regarding heat and health between the various districts in Rotterdam: Can the differences in heat between the districts of Rotterdam be explained on the basis of social and physical features of the city?

Methods: measuring, analysing and mapping

Hotterdam is the follow-up to a previous study – ‘Amsterwarm’ – in which we researched the heat island of the city of Amsterdam. Hotterdam builds upon the methodology developed in this project (van der Hoeven & Wandl, 2015a), and on other research projects like the study on urban heat in Trento (Daniele, 2010).

The Hotterdam research project encompassed three key points: urban heat, social factors and physical factors. Urban heat and the surface energy balance were determined using crowd sensing and remote sensing. Social and physical factors were identified with the help of satellite images, GIS and 3D models.



The links between urban heat/surface energy balance and social/physical factors were determined with the aid of multivariable regression analysis. The social and physical features that matter were then clustered and incorporated in the social and physical heat maps. The heat maps and underlying data offer an understanding of the mechanisms that make the residents of Rotterdam vulnerable to heat waves. Based on these insights, we described the most important measures that tenants, home owners (individuals, residents' associations, corporations) and the city council can take to change their behaviour, to improve the quality of their homes and to adapt the built environment to hot weather. A public version of the Hotterdam report was published as open access document to disseminate the full extend of the research in Dutch (van der Hoeven & Wandl, 2015b) and in English (van der Hoeven & Wandl, 2015c).

Atlas

All the data that we gathered was compiled in an atlas. The maps in the atlas were generated in a Geographic Information System (GIS): ArcGIS. All the maps were made on the basis of a hectare grid. Numerical values (p.e. 23% surface water, or 3 hours of shade) were calculated

for each of the individual cells (or pixels) in relation to the social and physical features of the city of Rotterdam. Three main sources were used in this process: satellite images, GIS data and 3D models. The atlas was divided into three sections: heat, social and physical.

Heat

To identify the spatial dimension of heat in the city of Rotterdam, three temperatures were determined: the surface temperature, the outdoor air temperature, and the indoor air temperature. Remote sensing was used for the surface temperature. The night-time outdoor air temperature and the indoor air temperature were used with the help of crowd sensing. The surface energy balance was modelled with remote sensing software (ATCOR2). The air temperature, surface temperature, and energy balance readings point to a clear heat island effect in Rotterdam. The heat island is strongest at the sites used by the port, industry and businesses. The centre and the pre-war districts in North, South, and West Rotterdam also experience a clear urban heat island effect. Temperatures in homes are generally higher than those in the surrounding area, and also show a large degree of variation. Indoor temperatures are less affected by local outdoor temperatures than we had expected.

острова в Роттердаме. Тепловой остров наиболее четко выражен на участках, занятых портом, промышленностью и бизнесом. В центральных и довоенных районах северного, южного и западного Роттердама можно также наблюдать городской остров тепла. Температура внутри домов обычно выше, чем снаружи, и также демонстрирует высокую степень изменчивости. Местная температура наружного воздуха оказывает на температуру в помещении гораздо меньше воздействия, чем мы ожидали.

Социальный фактор

Социально-пространственные факторы влияют на чувствительность местных жителей к городскому теплу (Mavrogiani, Davies, Batty, Belcher, Bohnenstengel, Carruthers, Chalabi, ... & Ye, 2011). В связи с этим мы исследовали большое количество человек в возрасте 75 лет и старше, уровень смертности в этой группе в июле 2006 года, разницу между показателями смертности в июле 2006 года и средними показателями для июля с 2000 по 2013 годы, а также продолжительность эксплуатации зданий в расчете на гектар. Группа населения в возрасте 75 лет и старше, чувствительная к температурным изменениям, сконцентрирована в послевоенных районах (в домах престарелых). Показатель смертности во время тепловой волны в июле 2006 года, превысивший средний показатель, охватывает более широкую территорию. Очевидно, что дело не только в концентрации населения в возрасте 75 и старше.

Физический фактор

Чтобы определить физико-пространственные черты, составляющие городской остров тепла в Роттердаме, мы использовали три вида данных: спутниковые снимки, данные системы ГИС городского совета и данные, полученные из трехмерной модели Роттердама. Физические черты, участвующие в формировании теплового острова, демонстрируют четкое различие между: 1) районами порта, индустрии и бизнеса, 2) довоенной частью города, включая центр, 3) послевоенной частью города и сорока участками зеленых насаждений. Эти четыре составляющие лежат в основе составления тепловых карт.

Тепловые карты

В рамках проекта «Хоттердам» появились две тепловые карты, составленные на базе атласа. В частности, социальная тепловая карта выражает чувствительность пожилых людей к воздействию городского острова тепла. Физическая тепловая карта демонстрирует характер использования земель, в большей или меньшей степени влияющий на остров тепла города Роттердама.

Социальная карта тепла

Замысел социальной карты тепла состоит в том, чтобы определить, в каких частях города чувствительность к жаркой погоде ведет к проблемам со здоровьем, в особенности у пожилых людей. Иерархический анализ множественной регрессии использовался для выяснения, какой из нижеприведенных социальных факторов является статистически значимым для Роттердама: количество человек в возрасте 75 лет и старше на гектар, средняя продолжительность эксплуатации зданий или общее количество явной теплоты и приземного теплового потока. Групповой анализ применялся для определения связей между этими факторами. В результате были выявлены шесть групп (или типологий), которые показаны на карте разными цветами, а также составлена таблица, дающая объяснение базовым значениям. Расселение пожилых людей в Нидерландах все еще сильно сконцентрировано в ограниченном количестве домов престарелых (черный цвет). Эти жилые районы требуют особого внимания. Районы вокруг центра (северный, южный и западный) имеют меньшее количество пожилых людей на гектар. Эти районы получают больше всего радиации, средний возраст домов здесь самый большой, а сами территории обширны (красный цвет). Эти зоны также требуют внимания.

Физическая карта тепла

Целью физической карты тепла стало выявление тех мест в городе, где есть факторы, усиливающие городской остров тепла. Регрессионный анализ помог определить, какие из нижеследующих факторов статистически значимы: непроницаемость, поверхностная вода, растительность (индекс листовой поверхности), оболочка зданий

Social

Socio-spatial factors affect the vulnerability of residents to urban heat (Mavrogianni, Davies, Batty, Belcher, Bohnenstengel, Carruthers, Chalabi, ... & Ye, 2011). In this case we examined the number of people aged 75 and over, the rate of mortality among this group in July 2006, the difference between the mortality rate in July 2006 and the July average for the period 2000–2013, and the age of the buildings per hectare. The vulnerable group of those aged 75 and over are strongly concentrated (in old people's homes and care homes) in the post-war districts. The above-average mortality rate during the July 2006 heat wave shows a pattern that is more spread out. It is clear that there is more to it than simply the concentration of those aged 75 and over.

Physical

To identify the physical spatial features that contribute to the urban heat island in the city of Rotterdam we used three types of data: satellite images, data obtained from the city council's GIS system, and data derived from a 3D model of the city of Rotterdam. The physical features that play a part in the heat island show stark differences between 1) port/industry/business areas; 2) the pre-war part of the city including

the centre; 3) the post-war part of the city; and 40 areas of vegetation. These four features determine largely the heat maps.

Heat maps

The Hotterdam project produced two heat maps, based on the atlas. The social heat map expresses the vulnerability of the elderly in particular to the urban heat island effect in the city. The physical heat map expresses the pattern of land use that contributes to a greater or lesser degree to the urban heat island in the city of Rotterdam.

Social heat map

The idea behind the social heat map is to find out where in the city vulnerability to hot weather leads to problems for the elderly in particular. Hierarchical multiple regression analyses were used to establish which of these social factors are statistically significant in the case of Rotterdam: the number of those aged 75 and over per hectare, the average age of the buildings, the sum of sensible heat and ground heat flux. A cluster analysis was used to identify the links between these features. This results in six clusters (or typologies) that are shown on the map with different colours, together with a table explaining the

и тень. Групповой анализ этих элементов был проведен для определения и группирования связей между ними. В результате появилось восемь групп (или типологий), которые выделены на карте разными цветами, а также таблица, поясняющая базовые значения.

Обширные территории, занятые портом, промышленностью и бизнесом, играют главную роль в формировании острова тепла Роттердама. Эти территории не показаны на социальной тепловой карте, поскольку там никто не живет. В центре города и окружающих районах (северном, южном и западном) в большей степени присутствуют физические факторы, которые определяют городской остров тепла, нежели в других районах.

Заключение

Довоенные районы города (северный, южный и западный) в той или иной степени теплее и более подвержены влиянию городского тепла, чем другие районы Роттердама. Полученные температурные данные подтверждают это заключение, если речь идет о наружной температуре. Температура в помещении колеблется в широких пределах. Каждый дом имеет свою динамику, где значим период эксплуатации здания.

Превышение среднего показателя уровня смертности среди людей в возрасте 75 лет и старше во время аномальной жары в июле 2006 года в Роттердаме можно объяснить, принимая во внимание: а) концентрацию людей этой возрастной группы; б) период эксплуатации домов, в которых они живут; в) сумму явной теплоты и приземного теплового потока.

Изменчивое сочетание таких элементов, как непроливаемые поверхности, поверхностная вода, растительность, оболочка зданий и тень, делают один район теплее, чем другой.

Литература / References

Daniele, V. (2010). Urban planning and design for local climate mitigation. A methodology based on remote sensing and GIS. Paper presented at the 46th ISOCARP Congress 2010, Nairobi, Kenya. Retrieved from http://www.isocarp.net/Data/case_studies/1815.pdf

Barriopedro, D., Fischer, E. M., Luterbacher, J., Trigo, R. M., & García-Herrera, R. (2011). The hot summer of 2010: redrawing the temperature

record map of Europe. *Science*, 332(6026), 220–224. doi:10.1126/science.1201224

Dhainaut, J.-F., Claessens, Y.-E., Ginsburg, C., & Riou, B. (2004). Unprecedented heat-related deaths during the 2003 heat wave in Paris: consequences on emergency departments. *Critical Care*, 8(1), 1–2. doi:10.1186/cc2404

Dousset, B., Gourmelon, F., Laaidi, K., Zeghnoun, A., Giraudet, E., Bretin, P., Maurid, E. & Vandentorren, S. (2011). Satellite monitoring of summer heat waves in the Paris metropolitan area. *International Journal of Climatology*, 31(2), 313–323. doi:10.1002/joc.2222

Greater London Authority. (2006). London's Urban Heat Island: A Summary for Decision Makers. Retrieved from http://legacy.london.gov.uk/mayor/environment/climate-change/docs/UHI_summary_report.pdf

Harman, I. N. (2003). The energy balance of urban areas. (Doctoral dissertation, The University of Reading, Reading, United Kingdom). Retrieved from <http://www.met.rdg.ac.uk/phdtheses/The%20energy%20balance%20of%20urban%20areas.pdf>

Mavrogianni A., Davies M., Batty M., Belcher S.E., Bohnenstengel S.I., Carruthers D., Chalabi Z., ... Ye Z. (2011). The comfort, energy and health implications of London's urban heat island. *Building Services Engineering Research and Technology*, 32 (1) , pp. 35–52. doi: 10.1177/0143624410394530

Rydin, Y., Bleahu, A., Davies, M., Dávila, J. D., Friel, S., De Grandis, G., ... & Wilson, J. (2012). Shaping cities for health: complexity and the planning of urban environments in the 21st century. *The Lancet*, 379(9831), 2079–2108

van der Hoeven, F., & Wandl, A. (2015a). Amsterwarm: Mapping the landuse, health and energy-efficiency implications of the Amsterdam urban heat island. *Building Services Engineering Research and Technology*, 36(1), 67–88. doi:10.1177/0143624414541451

van der Hoeven, F., & Wandl, A. (2015b). Rotterdam. Hoe ruimte Rotterdam warmer maakt, hoe dat van invloed is op de gezondheid van de inwoners, en wat er aan te doen is. Delft, Nederland: TU Delft Bouwkunde. doi:10.7480/bkbooks/hotterdam/nl

van der Hoeven, F., & Wandl, A. (2015c). Rotterdam. How space is making Rotterdam warmer, how this affects the health of its inhabitants, and what can be done about it. Delft, Nederland: TU Delft Architecture and the Built Environment. doi:10.7480/bkbooks/hotterdam/en

Vandentorren, S., Bretin, P., Zeghnoun, A., Mandereau-Bruno, L., Croisier, A., Cochet, C., ... Ledrans, M. (2006). August 2003 Heat Wave in France: Risk Factors for Death of Elderly People Living at Home. *European Journal of Public Health*, 16(6), 583–591. doi:10.1093/eurpub/ckl063

underlying values. The distribution of elderly people in the Netherlands is still strongly concentrated in a limited number of care institutions (black). These residential environments require particular attention. The districts around the centre (North, South, and West) have fewer elderly residents per hectare. They capture the most radiation, the homes here are the oldest on average, and the areas themselves are large (red). These areas require attention as well.

Physical heat map

The idea behind the physical heat map was to find out where in the city the features that strengthen the urban heat island occur. Regression analysis was used to establish which of these features are statistically significant: imperviousness, surface water, foliage (leaf area index), building envelopes and shade. A cluster analysis of these features was carried out to identify and group the links between features. The result is eight clusters (or typologies) that are shown here on the map in different colours, together with a table explaining the underlying values.

The extensive areas taken up by the port, industry and businesses play a major part in the formation the Rotterdam heat island. These

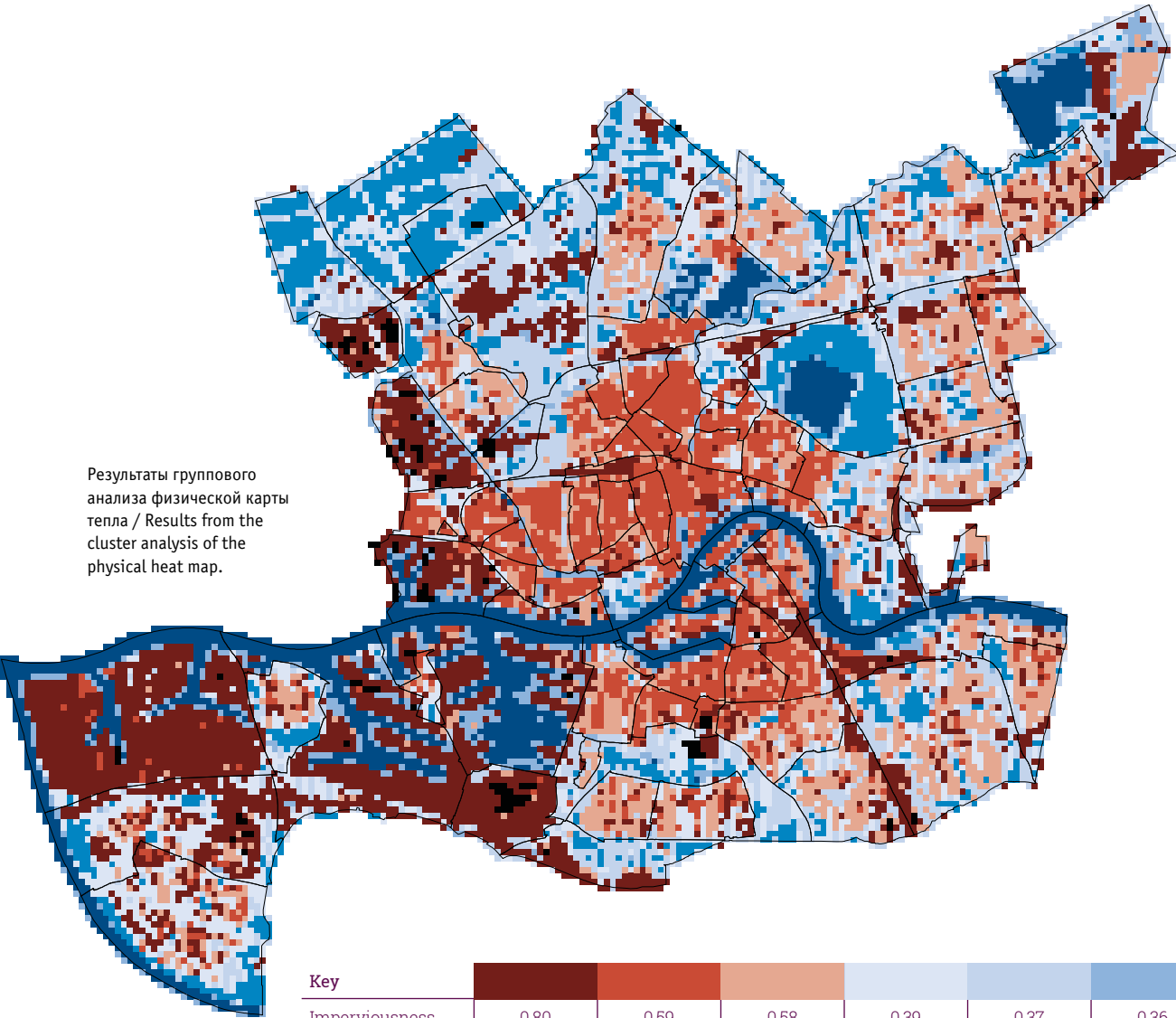
areas do not appear on the social heat map as nobody lives there. The centre of the city and the surrounding districts (to repeat: North, South and West) are more strongly characterised by the physical features that determine the urban heat island than other districts.

Conclusion

In different ways, the pre-war districts of the city (North, South, and West) are warmer and more vulnerable to urban heat than are other areas of Rotterdam. The temperature readings that were carried out confirm these findings as far as outdoor temperatures are concerned. Indoor temperatures vary widely. Homes seem to have their own dynamics, in which the house’s age plays a role.

The above-average mortality of those aged 75 and over during the July 2006 heat wave in Rotterdam can be easily explained on the basis of a) the concentration of people in this age group, b) the age of the homes they live in, and c) the sum of sensible heat and ground heat flux.

A varying mix of impervious surfaces, surface water, foliage, building envelopes and shade make one area or district warmer than another.



Результаты группового анализа физической карты тепла / Results from the cluster analysis of the physical heat map.

Key								
Imperviousness	0,80	0,59	0,58	0,39	0,37	0,36	0,09	0,06
Foliage (LAI)	249	350	557	1014	1056	262	2074	27
Building envelope	1261 m²/ha	8136 m²/ha	4269 m²/ha	1139 m²/ha	663 m²/ha	732 m²/ha	136 m²/ha	23 m²/ha
Surface water	3%	2%	4%	7%	8%	54%	8%	96%
Shadow	2,4	2,8	3,9	1,4	4,5	2,9	2,8	2,5
QH + QS	456 W/m²	406 W/m²	375 W/m²	324 W/m²	316 W/m²	311 W/m²	242 W/m²	119 W/m²

Results from the cluster analysis of the physical heat map.