



Doctoral Thesis

Numerical simulations and field experiments of wetting of building facades due to wind-driven rain in urban areas

Author(s):

Kubilay, Aytac

Publication Date:

2014

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-010402114> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

DISS. ETH NO. 22371

Numerical simulations and field experiments
of wetting of building facades due to
wind-driven rain in urban areas

A thesis submitted to attain the degree of
DOCTOR OF SCIENCES of ETH ZURICH
(Dr. sc. ETH Zurich)

presented by

AYTAÇ KUBILAY

MSc ETH in Energy Science and Technology, ETH Zurich

born on 28.11.1985

citizen of Turkey

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Jan Carmeliet, examiner
Prof. Dr. Shuichi Hokoi, co-examiner
Prof. Dr. Ali Dolatabadi, co-examiner
Prof. Dr. Bert Blocken, co-examiner
Dr. Dominique Derome, co-examiner

2014

Abstract

Wind-driven rain (WDR) is the type of rain, which has a horizontal velocity vector due to the effect of wind-flow occurring at the same time. WDR is one of the main moisture sources with potential negative effects on hygrothermal performance and durability of building facades. Deterioration of building materials due to WDR becomes an important issue when retrofitting old or historical buildings by adding insulation, planning energy efficient cities, doing assessment of soiling of facades and leaching of harmful biocides and nanoparticles from buildings. An accurate estimation of WDR intensity on buildings within urban environments can lead to better understanding of phenomena, such as droplet spreading, splashing, bouncing, absorption, evaporation, film forming and run-off on building facades. In this study, field measurements and computational fluid dynamics (CFD) calculations of WDR intensity are performed in order to improve the current understanding of physics involved in surface wetting on building facades due to WDR. Field measurements of WDR are performed on multiple buildings in two different urban geometries built in Dübendorf, Switzerland. The field measurement data are used to validate the Eulerian multiphase (EM) model with the turbulent dispersion modeling of raindrops as proposed in this thesis. The EM model allows for less computational complexity, a simpler quantification of the influence of turbulent dispersion of raindrops and ability to estimate WDR on all surfaces in a complex geometry compared to other models used in literature. WDR calculations are conducted together with Reynolds-averaged Navier-Stokes (RANS) simulations as well as large eddy simulation (LES) in order to estimate the sensitivity of WDR to deficiencies of RANS simulations in the wake of buildings. The influence of local wind-flow patterns such as recirculation regions between buildings is enhanced for larger building groups, affecting the resulting WDR intensity on the facade as well as the droplet impact speed and impact angle. Similar to the influence of recirculation regions, the influence of turbulent dispersion is found to be higher for larger size buildings. It is also shown that the correct estimation of turbulent dispersion depends on the accuracy of the turbulence kinetic energy field, especially for high-rise buildings. WDR calculations with LES are used to study the unsteady behavior

of WDR and the variation of WDR intensity on building facades compared to mean WDR. The running averages of the transient catch ratio values are found to converge to stable values within 100-200 s. This confirms that the common assumption in numerical simulations, which considers 10-min experimental time steps as steady state, is valid. Furthermore, the influence of facade details on WDR deposition is studied in various configurations. With a more detailed understanding of WDR, this work may lead to improvements of engineering and industrial applications e.g. modifications of surface properties of building materials, the improvement of coating materials.

Zusammenfassung

Schlagregen ist eine Art von Regen, welcher aufgrund von gleichzeitigen Windströmungen einen horizontalen Geschwindigkeitsvektor hat. Der Schlagregen ist eine der Hauptfeuchtequellen an Gebäudefassaden mit möglichen negativen Auswirkungen auf die hygrothermische Leistung und die Alterungsbeständigkeit von Gebäudefassaden. Durchfeuchtung von Baustoffen aufgrund von Schlagregen kann zu Beschädigungen führen. Deswegen ist der Schlagregen ein wichtiges Thema bei der Isolierung von alten oder historischen Gebäuden, bei der Planung von energieeffizienten Städten, bei der Abschätzung von Verschmutzung von Gebäudefassaden und Auswaschung von schädlichen Bioziden und Nanopartikeln aus Gebäuden. Eine genaue Abschätzung der Schlagregenbelastungen an Gebäuden im städtischen Umfeld kann zu einem besseren Verständnis von Phänomenen wie z.B. Tröpfchenausbreitung, sowie Absorption, Verdampfung, Filmbildung und Regenwasseroberflächenabfluss an Gebäudefassaden, führen. In dieser Studie werden Feldmessungen und numerische Strömungsberechnungen (CFD) von Schlagregen durchgeführt, um das derzeitige Wissen über die Fassadenbenetzung aufgrund von Schlagregen zu verbessern. Die Feldmessungen des Schlagregens werden an mehreren Gebäuden mit zwei verschiedenen Gebäudekonfigurationen, welche in Dübendorf in der Schweiz gebaut wurden, durchgeführt. Die Daten der Feldmessungen werden dann verwendet, um ein Euler-Mehrphasen (EM) Modell mit turbulenter Dispersionsmodellierung von Regentropfen zu validieren. Im Vergleich zu anderen Modellen in der Literatur ermöglicht das EM Modell, welches in dieser Arbeit eingeführt wird, einfachere numerische Berechnungen von Schlagregen und eine einfachere Quantifizierung des Einflusses der turbulenten Dispersion von Regentropfen. Außerdem ermöglicht das EM Modell, die Schlagregenbelastung auf allen Oberflächen in einer komplexen Gebäudekonfiguration zu berechnen. In dieser Studie werden numerische Berechnungen von Schlagregen zusammen mit Reynolds-gemittelten Navier-Stokes (RANS) Simulationen durchgeführt. Weiter werden Large Eddy Simulation (LES) verwendet, um die Sensitivität der Schlagregenberechnungen auf die Vereinfachungen von den RANS Simulationen ab zu

schätzen. Die Berechnungen von Schlagregen mit LES werden auch verwendet, um das instationäre Verhalten des Schlagregens zu analysieren und die Abweichung der Schlagregenbelastung auf Gebäudefassaden mit der Belastung durch stationären Schlagregen zu quantifizieren. Weiter wird der Einfluss von Fassadendetails auf die Schlagregenbelastung für verschiedenen Gebäudekonfigurationen untersucht. Mit einem detaillierteren Wissen über den Schlagregen kann diese Studie zu Verbesserungen in ingenieurwissenschaftlichen und industriellen Anwendungen führen, z.B. durch Modifikationen der Fassadenmaterialien oder Verbesserungen in der Beschichtungsmaterialien.