عنوان **افکت پشته در ساختمان های بلند: یک بررسی**

نویسنده فانو کاملی ، مکانیک سیالات BMT آموزشی ویبولیتین سرگئی میجورسکی ، SoftSim Consult.

موضوع پایداری/سبز/انرژی

کلیدواژه: تهویه طبیعیطراحی
غیرفعالاثر پشته

تاریخ انتشار: 2016

انتشار اصلی: مجله بین المللی ساختمان های بلندمرتبه دوره 5 شماره 4

نوع مقاله: 1. فصل کتاب/فصل قسمت
2. مقاله مجله
3. روند کنفرانس
4. مقاله کنفرانس منتشر نشده
5. مقاله مجله
6. منتشر نشده

مجله بین المللی ساختمان های بلنددسامبر 2016، جلد 5، شماره 4، 327-338http://dx.doi.org/10.21022/IJHRB.2016.5.4.327

مجله بین المللی
ساختمان های بلند مرتبه
www.ctbuh-korea.org/ijhrb/index.php

افکت پشته در ساختمان های بلند: یک بررسی

سرگئی میجورسکی1 و استفانو کامملی2,†

BMT Fluid Mechanics Ltd. ، 67 Stanton 2 بلغارستان ، 1715 ، صوفیه ، SoftSim Consult Ltd. ، Mladost-4 ، bl.438 ، ap.
انگلستان ، Avenue ، Tedington ، TW11

چکیده

این مقاله فنی مروری دقیق بر پدیده اثر پشته و پیامدهای مرتبط با طراحی و ساخت ساختمان های بلند در مناطق با شرایط آب و هوایی شدید ارائه می دهد. بررسی حاضر هم بر اثر کلاسیک "دودکش" و هم بر اثر پشته معکوس متمرکز است که به ترتیب مربوط به اقلیم سرد و گرم است. برای هدف کار ارائه شده در اینجا، شرایط طراحی ASHRAE (2013) آستانه (قزاقستان) و ریاض (پادشاهی عربستان سعودی) انتخاب شد. یک ساختمان مسکونی به ارتفاع 230 متر با پلان مستطیلی شکل در چارچوب شرایط اقلیمی دو شهر فوق الذکر به صورت عددی مدل سازی شد و تعدادی از تحلیل های حساسیت انجام شد که تغییرات پارامتری دما، تنگی هوای نما، سرعت باد سایت و جهت باد را پوشش می دهد.

واژه های کلیدی: اثر پشته، شناوری، ساختمان بلندمرتبه، مدل سازی جریان هوای چند منطقه ای، تنگی هوای نما، دبی

1. مقدمه

اثر پشته یک پدیده شناوری است که معمولا در ساختمان های بلند رخ می دهد. این پدیده فیزیکی معمولا در مناطقی که شرایط آب و هوایی خارج از کشور را تجربه می کنند، بوجود می آید. محرک اصلی پدیده stackeffect اختلاف دما بین فضای داخلی ساختمان و محیط خارجی است. همچنین، تأثیر فشار باد بر پوشش خارجی ساختمان را نباید نادیده گرفت زیرا می تواند سهم قابل توجهی در عملکرد کلی ساختمان داشته باشد.

1.1. فرآیندهای مبتنی بر شناوردر مناطق سرد، هوای نسبتا گرمتر داخلی یک ساختمان بلند به دلیل نیروهای شناوری افزایش می یابد و اختلاف فشار ایجاد می کند که سعی می کند هوا را در پایین ساختمان به داخل بکشد و هوا را در سطوح بالا به بیرون هل می دهد. هوای سردی که به داخل کشیده شده است سپس توسط خدمات ساختمانی گرم می شود و چرخه فرآیند اثر پشته کلاسیک را می بندد (نمودار گویا را در شکل 1 (الف) ببینید). از طرف دیگر ، در آب و هوای گرم ، یک روند معکوس را می توان مشاهده کرد: در این حالت هوای نسبتا خنک تر داخل ساختمان بلند رسوب می کند و باعث ایجاد فشار در اطراف قسمت پایین ساختمان می شود که هوا را به بیرون هل می دهد و هوا را در سطوح بالایی به داخل می کشد. باز هم، هوای گرمی که به داخل کشیده شده است توسط خدمات ساختمانی خنک می شود و چرخه فرآیند اثر پشته "معکوس" را می بندد (نمودار گویا را در شکل 1 (ب)).

لازم به ذکر است که در هر دو نوع فرآیند اثر پشته معمولا تغییری در علامت (جهت) گرادیان فشار در پوشش ساختمان وجود دارد: این نشان می دهد که در نقطه ای از ارتفاع ساختمان، ناحیه ای از فشار خنثی وجود دارد که در آن فشارهای داخلی و خارجی کاملا برابر هستند.

1.2 فرآیندهای بادیعلاوه بر نیروی شناوری، در نظر گرفتن تأثیر فشار باد بر روی پاکت ساختمان نیز مهم است. به خوبی شناخته شده است که به دلیل شکل لایه مرزی جوی، سطوح پایینی و بالایی ساختمان های بلند تحت سرعت باد نسبتا متفاوتی قرار می گیرند (فشار باد). این می تواند تأثیر ناچیزی بر نفوذ و خروج از طریق پوست ساختمان داشته باشد. به طور خاص، فشارهای باد خارجی مثبت توانایی افزایش نفوذ و خنثی کردن نفوذ را دارند در حالی که فشارهای باد خارجی منفی توانایی افزایش فیلتراسیون و مقابله با نفوذ را دارند (شکل 2 را ببینید).

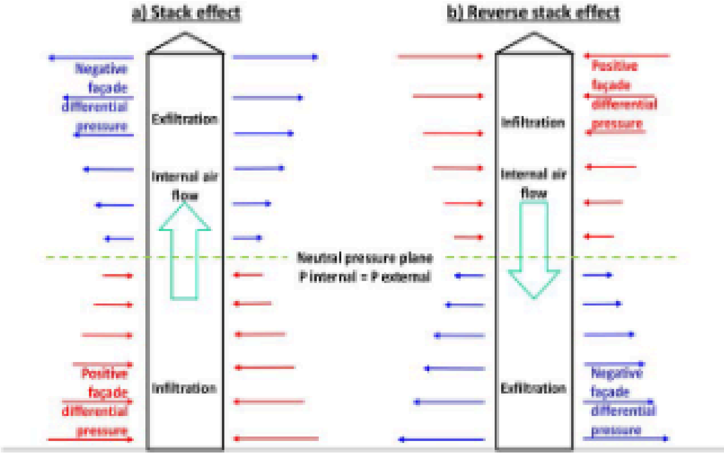
1.3. چالش های طراحیچالش های اصلی طراحی مرتبط با پدیده stackeffect در ساختمان های بلند عبارتند از:

کرد درب های آسانسور: درب های آسانسور، به دلیل اختلاف فشار بیش از بین آنها، می توانند دچار مشکل شوند و در ریل های راهنمای خود به ی کار نکنند.

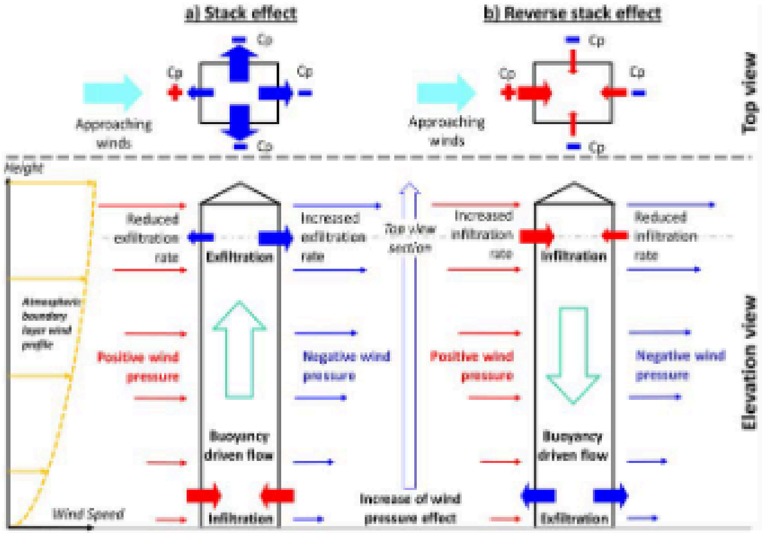
کرد درب های چرخشی: کاربران، به دلیل اختلاف فشار بیش از حد در درب رخشی، می توانند در باز کردن / بسته کردن آنها با مشکلاتی مواجه شوند.

ت ناراحت کننده و / یا بیش از حد جریان هوا: این پتانسیل را
که در کلید اشغال شده رخ دهد

† نویسنده مسئول: استفانو کاملی
تلفن: +44-20-8614-4400; فکس: +44-20-8943-3224پست الکترونیکی:
scammelli@bmtfm.com



شکل 1. نمودارهای اثر پشته اصلی.



شکل 2. تأثیر فشار باد بر اثر پشته ساختمان.

ها (به عنوان مثال، شکاف های درب، دریچه های شفت ها یا دهانه
هویه طبیعی) می تواند علت سوت با صدای بلند باند باریک باشد که
ه خود می تواند باعث ایجاد ناراحتی برای ساکنان ساختمان بلند شود.

راتژی آتش سوزی: حرکت بیش از حد جریان هوا در داخل
مان بلند می تواند سرعت انتشار دود و آتش را افزایش دهد.
ین انحراف بیش از حد از سطوح فشار از پیش تعیین شده در
مسیرهای اصلی تخلیه (مانند راه پله ها و راهروها) به دلیل

فضاهایی مانند لابی ها، راهروها، دهلیزها و غیره.

• انتشار / انتشار دود، بوها و سایر آلاینده های ناخواسته در سراسر ساختمان.

• استراتژی گرمایش / سرمایش ناکارآمد: به دلیل نفوذ بیش از حد هوای سرد (گرم) محیط به سطوح پایین (بالایی) ساختمان های بلند، احتمالا برای گرم کردن (خنک کردن) چنین فضاهایی به تامین انرژی اضافی نیاز است.

• سر و صدای ناشی از جریان: جریان هوا با سرعت بالا از طریق باریک

شکل 3. ارتفاع ساختمان و پروفیل باد.

ساختمان؛

اثر، می تواند مانع از تخلیه صاف سرنشینان شود' رویه ها انجام شود.

• اجرای دهلیزهای بین ساختمان ها و بانک های آسانسور.

• معرفی جداسازی عمودی در آسانسور و شفت راه پله

فی جداسازی افقی (به عنوان مثال، پارتیشن بندی داخلی اضافی)؛

• بهبود تنگی هوای اتاق آسانسور.

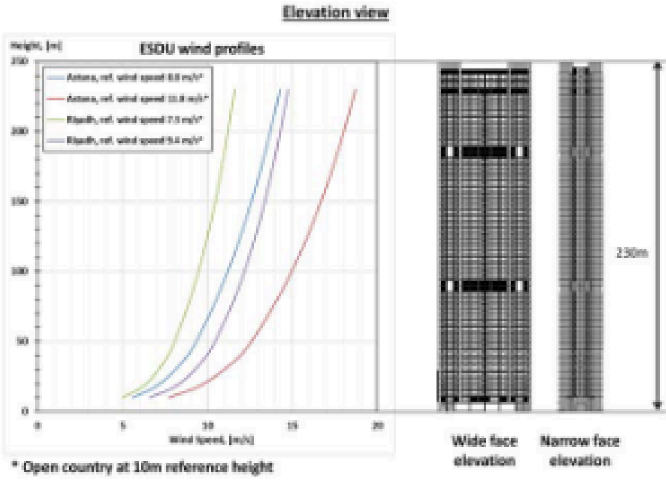
• اجرای فشار ملایم در الواتورها و شفت های راه پله

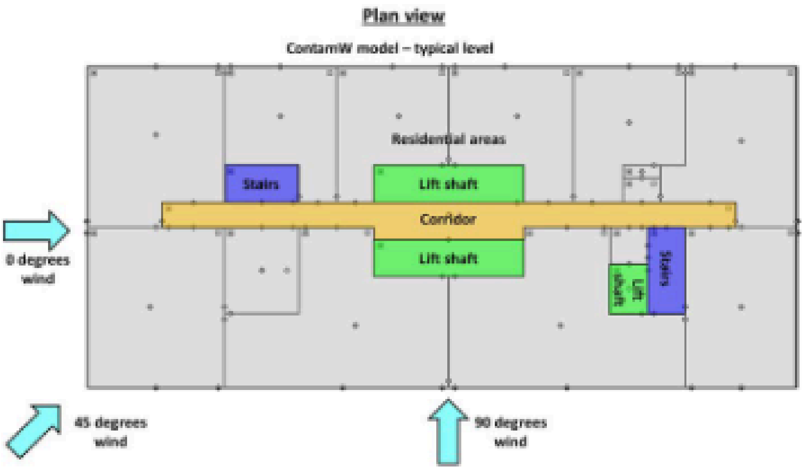
1.4 اقدامات پیشگیرانهبه منظور جلوگیری از برخی از مسائل ذکر شده در بالا ، اقدامات زیر باید در نظر گرفته شود / اجرا شود (جو و همکاران 2007):

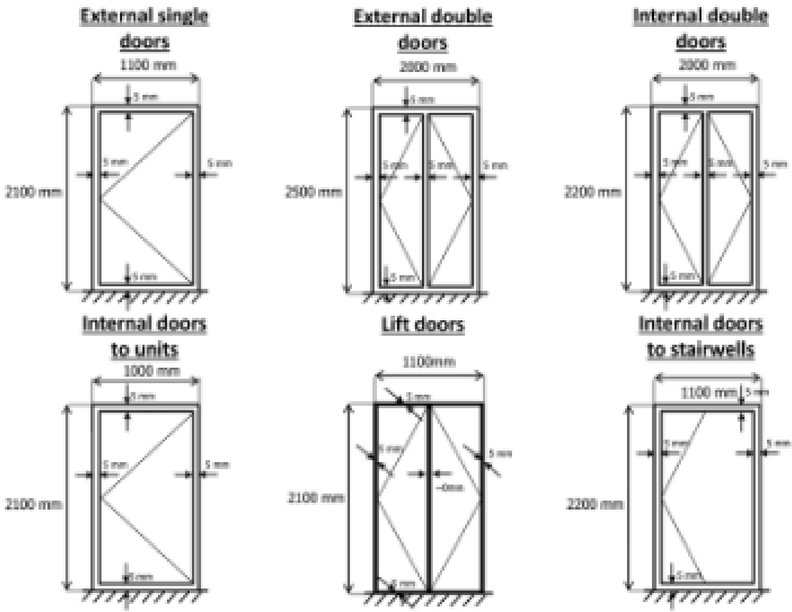
• بهبود کیفیت و تنگی هوا پاکت ساختمان (از طراحی تا QA / QC در محل از طریق مشخصات فنی دقیق) ؛

• نصب درب های گردان در نقاط دسترسی کلیدی به

شکل 4. طرح ساختمان و بادهای نزدیک.







.Figure 5. Door specifications

Modification and control of the design •
.temperaturewithin elevators and stairwell shafts

A Case Study .2

General InformationFor the purposes of this .2.1 technical paper, a 63-storey /230 m tall residential building of rectangular floor planwas selected. The elevation of the building, together witha graphical representation of the approaching wind pro-files, are illustrated in Fig. 3.Two cities of extreme :climatic conditions were consi-dered

;Astana (Kazakhstan): extreme winter conditions (stackeffect) •

Riyadh (Kingdom of Saudi Arabia): extreme • summerconditions (reverse stack effect).Within this technical paper only three wind directionswere considered, namely 0, 45 and 90 degrees, as illustra-ted in Fig. 4. Also shown in the Fig. 4 are the main inter-nal .zones of a typical residential level of the building

Wind PressuresThe aerodynamic roughness lengths .2.2 assumed for thecity center of Astana and Riyadh were respectively 0.7 mand 0.5 m. The site-specific mean wind speed profiles havebeen determined using ESDU (2001), whilst the magni-tude and the distribution of the -external mean wind pre

ssures over the building envelope were calculated .lowing Eurocode (20

Building Elements and Construction SpecificationsThe . doors considered in this study were specified wit uniform door-to-frame gap size of 0.005 m and thick-ne of 0.05 m (see Fig. 5), whilst all internal walls andflo areas (shaft and partitioning) were classified, aseither lo medium or high air flow resistant elements(see Table 1 the actual porosity levels), following thespecification ASHRAE (2013).Regarding the façade specifications, t :following inter-national standards were consider

;American Society for Testing and Materials (ASTM2012

;Russian code (СНиП 2011) •
;Eurocode (EN 2012) •
.Chinese code (GB/T 2007) •

Table 1. Porosity levels of the internal walls and partition-i (ASHRAE 2013, Chapter 16, Ventilation and Infiltra-tion, Table 1

Walls	Porosity - Total opening area per square meter
High air flow resistant walls	m/m 10-4×0.14
Medium air flow resistant walls	m/m 10-3×0.11
High air flow resistant walls	m/m 10-3×0.35
Floor/ceilings	m/m 10-4×0.52

Table 2. Façade properties

Façade Specification	Façade Leakage
:American code ASTM E283	m/m·h at 300 Pa 0.948
Russian code:СНиП 23-02-2003 Code	kg/m2·h at 121.3 Pa 0.5
Eurocode:EN 12152:2002 Code	Class A4: 1.5 m3/m2·h at 600 Pa
Chinese code:GB/T 21086-2007	Grade 4: 0.5 m3/m2·h at 10 Pa

Further details of the air leakage properties are given .inTable 2

Hvac SystemsHeating, ventilation and air .2.4 conditioning (HVAC) sys-tems were considered in operation at all building's levelsfor all simulated cases. For a typical level of the tall buil-ding, an air supply / extraction of 0.9 m3/s and 0.8 m3/swere respectively chosen. For the entire building, the totalsupply of air was approximately 50 m3/s, whilst the airextracted approximately 42 m3/s. Also, the interior designair temperature was set to 21oC for the winter scenariosand .23oC for the summer cases

Multi-zone Air Flow Numerical Model .3

For the purposes of the present technical paper, thecomputer program CONTAMW 3.2 − a multi-zone airflowand contaminant transport analysis software developed bythe National Institute of Standards and Technology (NIST)− was utilized. A detailed review of the validation ofCONTAMW can be found in Emmerich (2001), whilstinformation related to the CONTAMW multi-zone mod-elling can be found in Dols and .Polidoro (2015)

A detailed CONTAMW network flow model of theproposed building was constructed and configured withall the required flow paths and boundary conditions. Themodel included all lift shafts, stairwells and occupiedspaces and incorporated a detailed representations of theairtightness of the building .envelope, internal / externaldoors and internal partitioning

Flow Paths ModellingFlow paths (façade, walls, .3.1 doors, slabs, shafts, etc.) canbe numerically modelled through the assignment of speci-fic leakage rates, wall porosity and flow resistance orthrough the specification of an appropriate door-to-frame/window-to-frame gap size. In the analysis work presentedwithin this technical paper, power law and quadraticmodel were utilized to describe the performance of suchflow

In the multi-zone air flow numerical model describedwithin :technical paper, the different flow paths weremodelled as foll

Façade: modelled through a power law based on asingle te data point with a reference differential pre-ssure of 300 Pa ;a flow exponential of

Walls and internal partitions: modelled through apower la based on a given leakage area at a differ-ential pressure o ;Pa, a flow exponential of 0.65and a discharge coefficient o

Doors: modelled through a quadratic model in thefor of DP = a·Q + b·Q^2, where Q is the volume flowrate as Baker et al. (1987). This model takes intoaccount the to length of the door crack, the gap size(in this case 0.0 ;m) and the thickness of the door(in this case 0.05

Stairwells: modeled through a power law based onflo resistance fitted to experimental data as perAchakji and Tan ;(19

Lift shafts: modelled through a power law based on flow resistance calculation performed according friction model that uses the Darcy-Weisbach rela-tions and the equation of Colebrook for frictionfactor documented in "Chapter 21 - Duct Design"of ASH ;(20

Scenarios MatrixThe steady state winter and .3.2 summer conditions, respec-tively for Astana and Riyadh were based on ASHRAE(2013) and are summarized in Tables 3(a) to 3(c). Threetypes of sensitivity analyse were performed: one focusedon varying the outdoo ambient temperature (see Table3(a)); one focused on varying the strength and directio-nality of the wind speed (see Table 3(b)); and one focusedon varying the .air tightness of the façade system (seeTable 3(c)

Numerical Results And Discussion .4

The discussion of the numerical results presented withint :technical paper are subdivided in the following sec-tio

- ;Baseline models •
- ;Sensitivity to ambient temperature •
- ;Sensitivity to wind speed and wind direction •

Sensitivity to façade airtightness.The graphical results are presented in Fig. 6 through toFig. 13; these include th floor-by-floor total net air infil-tration / exfiltration as we as the maximum pressure dif-ference across the differe levels of the building, whichis defined as the large difference between the maximumand minimum pressu .differential experienced acrossany particular floo paths with regard to leakage at different levels ofpressure differential. Details of the mathematical modelspertaining to different types of flow paths can .be found inDols and Polidoro (2015)

Baseline ModelsThe baseline conditions selected for the two sites w

Table 3. Scenario matrix

Case	Season	Site Location	DB[°C]	Windspe ed [m/s]	Winddir ection[o]	FaçadeSpecificatio
Impact of ambient temperatures (a)						
Astana, 5-yr return period temperature	Winter(base line)	ASTANA, Kazakhstan	37-	8.8	0o	ASTM code
Astana, 50-yr return period temperature	Winter	ASTANA, Kazakhstan	42.9-	8.8	0o	ASTM code
Riyadh, 5-yr return period temperature	Summer(ba seline)	RIYADH, Saudi Arabia	46.7	7.3	0o	ASTM code
Riyadh, 50-yr return period temperature	Summer	RIYADH, Saudi Arabia	48.2	7.3	0o	ASTM code
Impact of approaching winds (b)						
Case	Season	Site Location	DB[°C]	Windspe ed [m/s]	Winddir ection[o]	FaçadeSpecificatio
Astana, 5% exceedance wind speed, 0o	Winter(base line)	ASTANA, Kazakhstan	37-	8.8	0o	ASTM code
Riyadh, 5% exceedance wind speed, 0o	Summer(ba seline)	RIYADH, Saudi Arabia	46.7	7.3	0o	ASTM code
Astana, 1% exceedance wind speed, 0o	Winter	ASTANA, Kazakhstan	37-	11.8	0o	ASTM code
Riyadh, 1% exceedance wind speed, 0o	Summer	RIYADH, Saudi Arabia	46.7	9.4	0o	ASTM code
Astana, 5% exceedance wind speed, 90o	Winter	ASTANA, Kazakhstan	37-	8.8	90o	ASTM code
Riyadh, 5% exceedance wind speed, 90o	Summer	RIYADH, Saudi Arabia	46.7	7.3	90o	ASTM code
Astana, 5% exceedance wind speed, 45o	Winter	ASTANA, Kazakhstan	37-	8.8	45o	ASTM code
Riyadh, 5% exceedance wind speed, 45o	Summer	RIYADH, Saudi Arabia	46.7	7.3	45o	ASTM code
Impact of façade specification (c)						
Case	Season	Site Location	DB[°C]	Windspe ed [m/s]	Winddir ection[o]	FaçadeSpecificatio
ASTM code façade	Winter(base line)	ASTANA, Kazakhstan	37-	8.8	0o	ASTM code
Russian code façade	Winter	ASTANA, Kazakhstan	37-	8.8	0o	СНиП code
EN code façade	Winter	ASTANA, Kazakhstan	37-	8.8	0o	,EN code class A4
Chinese code façade	Winter	ASTANA, Kazakhstan	37-	8.8	0o	,Chinese code grade 4

as follows: 5-yr return period Dry Bulb Temperature(DBT), 5% exceedance wind speed, 0 degrees wind dir-ection and façade specification based .on the ASTM code(see Table 3(a))

Fig. 6 presents the floor-by-floor net air infiltration/exfiltration thought the building envelope, whilst Fig. 7shows the floor-by-floor minimum (associated with theleeward and side faces of the building) and maximum(associated with the windward face of the building) dif-ferential pressure across the different façade elements ofthe building taking into account both the external windpressures and the .pressures driven by the stack effect phe-nomenon

Fig. 6 shows a relatively high level of mass flow rateat the upper and lower levels of the building, where directsizeable connections between the internal spaces of thebuilding and the atmosphere are located. More specific-ally, in Astana baseline case, the air infiltrates at the bot-tom of the building and it is withdrawn at the top, with a

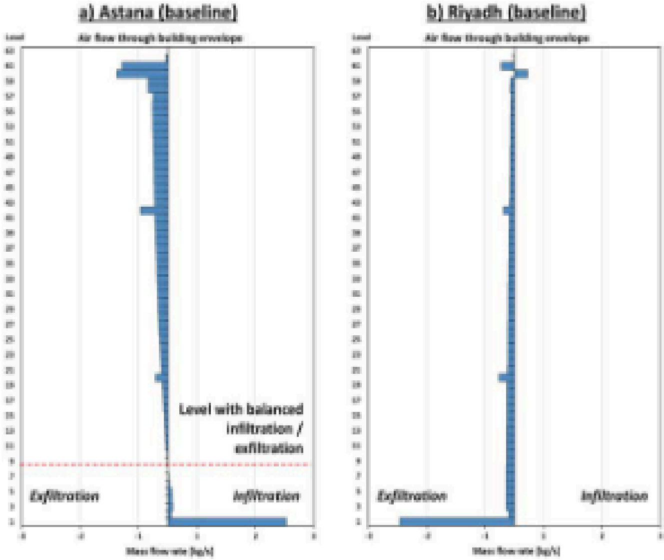
neutral pressure plane of the building loca between'Level 7' and 'Level 9'. On the other hand, in Riy ba-seline case, the air is withdrawn at almos building'slevels (with the exception of 'Level 60'): th becausethe buoyancy forces in this specific case are 'c drivenby a temperature difference of approximately 2 (asopposed to 58oC in Astana), making the contribu ofthe negative external wind pressures acting on the en ope of the building and the effect of the HV systempositively pressurizing its interior spaces far m domin-ant. This also explains the absence of an ac .neutralpressure pl

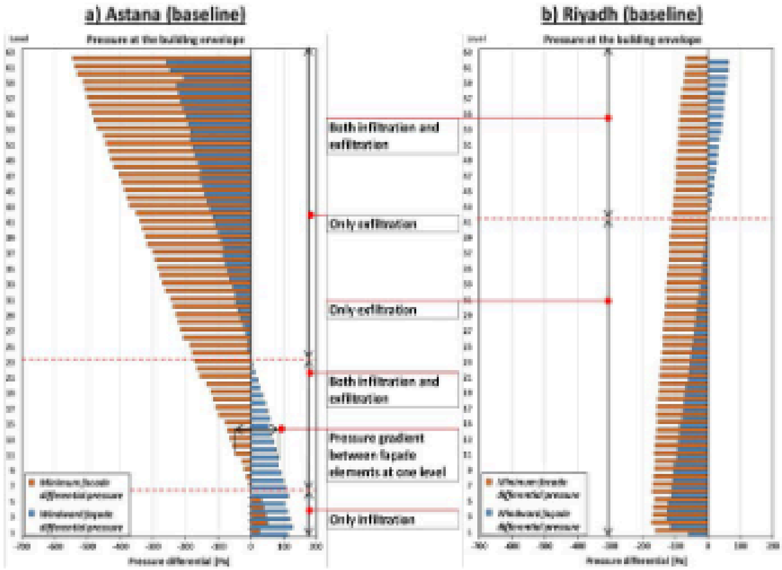
The graph pertaining to Astana in Fig. 7 shows predo-mina negative differential pressures acting across thebuilding envel these are primarily the result of nega-tive external wind press acting in sync with the buo-yancy-driven forces. Not only: the also a large differ-ence between the minimum and the maxin -differentialpressures experienced across any given floor (app

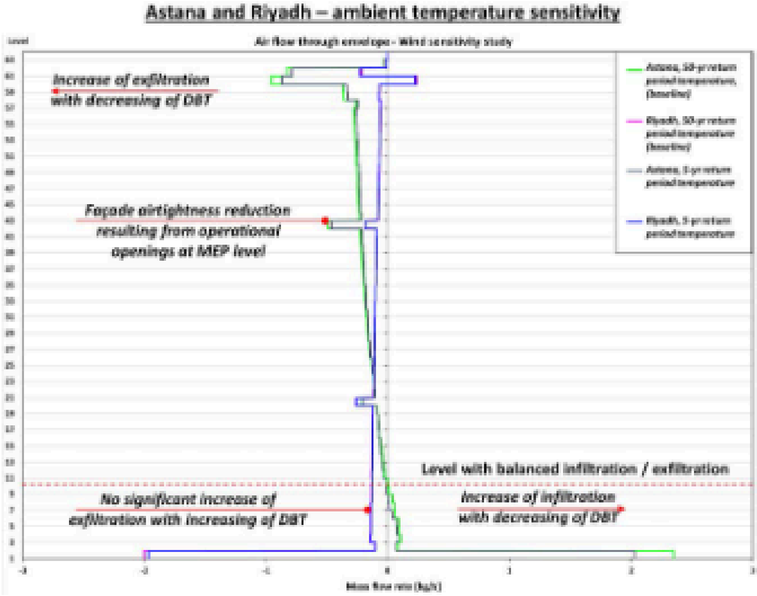
.Figure 6. Baseline models - Net air infiltration / exfiltration through the building envelope; (a) Astana, (b) Riyadh

.Figure 7. Baseline models - Minimum and maximum pressure differential across the building envelope; (a) Astana, (b)Riyadh mately up to 300 Pa), especially towards the top of -thebuilding. On the other hand, in Riyadh, the buoyancy for

ces do tend to act against the negative external wind p ssures acting on the skin of the building, improving







.Figure 8. Astana and Riyadh (sensitivity to ambient temperature) - Net air infiltration / exfiltration through the buildingenvelope

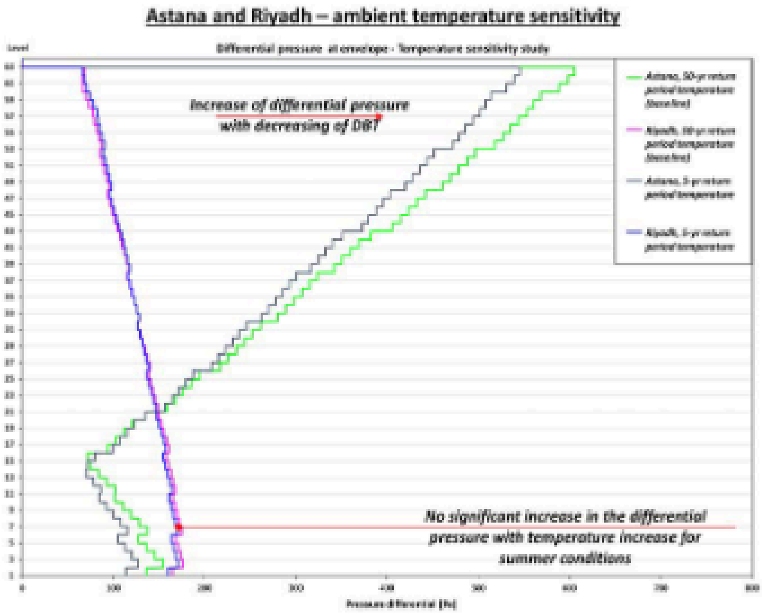


Figure 9. Astana and Riyadh (sensitivity to ambient temperature) - Maximum pressure difference across the entire levelso
.buil

.overall building performance

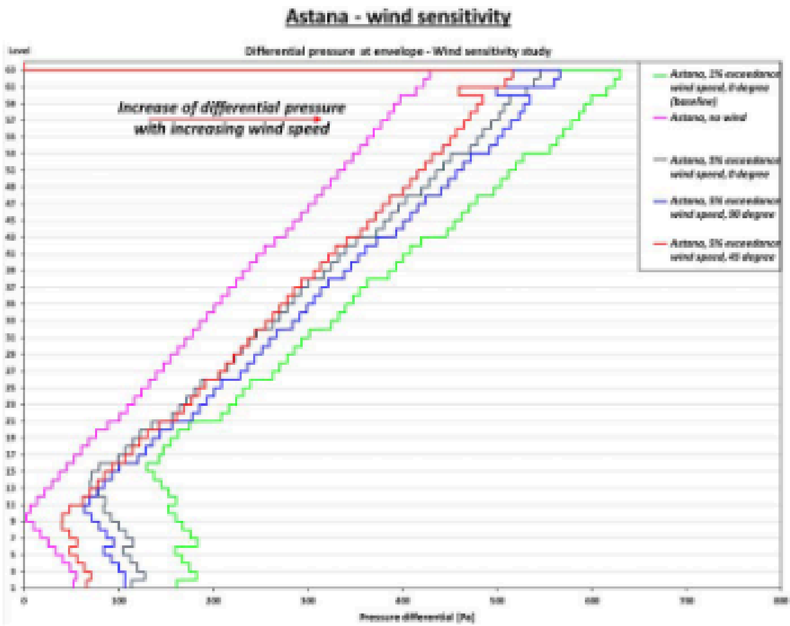
Sensitivity to Ambient TemperatureThe impact of .4.2 changes to the ambient temperature wasassessed by comparing, at both sites, two different designconditions, namely the 5-yr and the 50-yr return periodDBT.In Astana, the change of DBT from -37oC to -42.9oCincreased the infiltration at 'Ground Level' and theexfiltration at 'Level 60', as shown in Fig. 8. However,for all other levels the changes were relative minor. At thesame time, as shown in Fig. 9, this change in DBT has ledto an increase of the maximum pressure difference acrossthe different floors of the building: however, due to thegood airtightness specification of the building façade, thisincrease didn't cause significant contribution to the netinfiltration and exfiltration with except of the two locali-zed levels mentioned above.In Riyadh, the overall impact of temperature changewas assessed to be small, both from a net infiltration andexfiltration rates point of view (see Fig. 8) and from amaximum pressure .difference perspective (see Fig. 9)

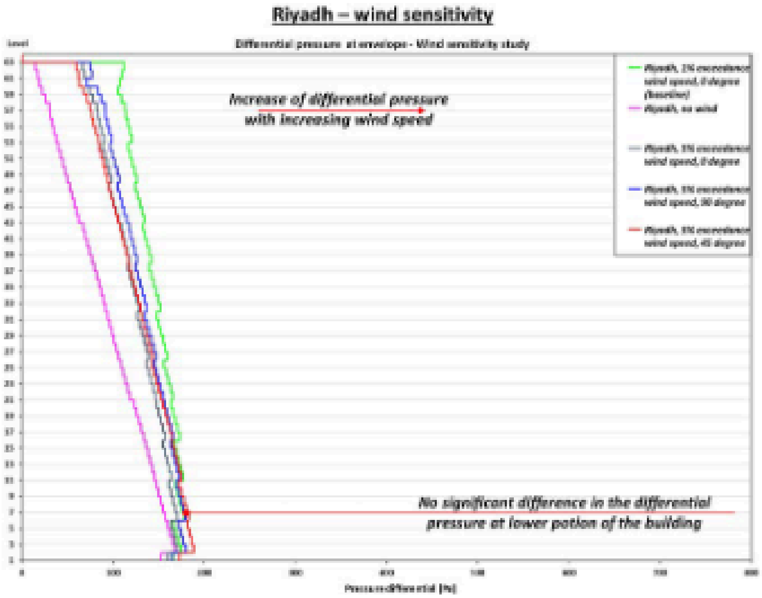
Sensitivity to Wind Speed and Wind DirectionThe impact .4.3 of the different wind conditions on the stackeffect phenomenon was assessed by comparing, at bothsites, two -different design conditions – 5% and 1% excee dance wind speeds, and three different wind directions 45 and 90 degrees. The results, which graphicallypresented in Figs. 10 and 11, show a remarka increaseof the maximum pressure difference – espec acrossthe upper levels of the building – as a di consequenceof the increase in wind speed/external w suction. Morespecifically, in Astana, the increased leve maximumpressure difference also translated into increase of thelevel of net exfiltration over the top por .of the build-

Contrary, in Riyadh, there was no significant incre .ofmaximum pressure difference at most le

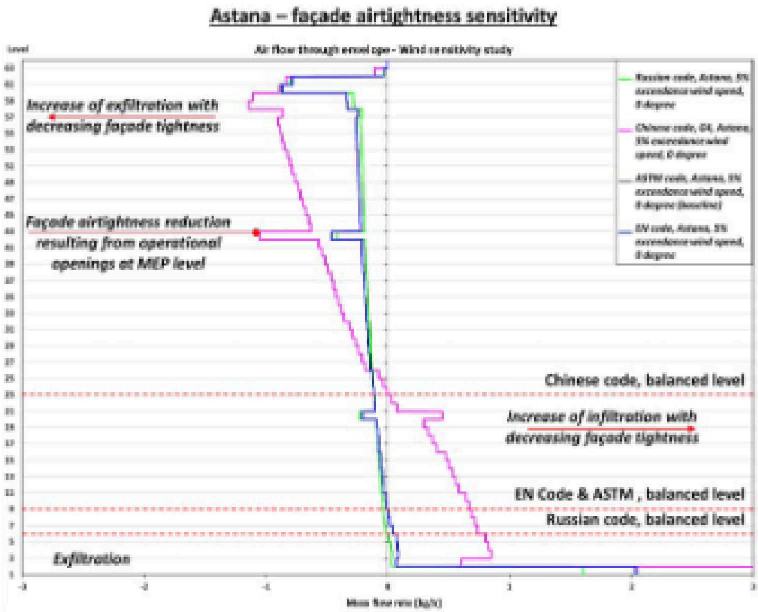
Sensitivity to Façade AirtightnessThis sensitivity .4.4 analysis – which compared four differ-ent façade type specifications (ASTM, Eurocode, Russiansand Chinese specifications) – was only performed for thewinter conditions of Astana (5-yr return period DBT and5% exceedance wind speed). The results are summarizedin Figs. 12 and 13.Fig. 12 shows that the 'Chinese Grade 4' façade is clearlythe most permeable one: this resulted in a significant inc-rease of the net infiltration and exfiltration levels throu-ghout the entire building. All other façade types performsignificantly better. Of particular interest is the non-negli-gible upward shift of the neutral pressure plane exhibitedby the 'Chinese Grade 4' façade. Additionally, Fig. 13

.Figure 10. Astana (sensitivity to wind speed and wind direction) - Maximum pressure difference across the entire levelsof the build





.Figure 11. Riyadh (sensitivity to wind speed and wind direction) - Maximum pressure difference across the entire levelsof the buil



.Figure 12. Astana (sensitivity to façade airtightness) - Net air infiltration / exfiltration through the building envelope

.Figure 13. Astana (sensitivity to façade airtightness) - Maximum pressure difference across the entire levels of thebuilding

shows how the best performing façade types have theability of holding the highest pressure differentials, .espe-cially over the upper levels of the building

Conclusions .5

The stack effect is a buoyancy phenomenon driven byhigh temperature differences between the internal spacesof a building and the external environment and as such,harsh winter conditions have the potential to lead to themost challenging operational conditions. However, sum-mer conditions should not be ignored. In this technicalpaper it was observed that the wind pressures can alsoplay a significant role in the overall buildings' .perform-ance

For relatively simple prismatic buildings, in the case ofclassical stack effect, wind pressures would typically con-tribute to enhancing the exfiltration rates across the upperlevels of the building. On the other hand, in the case ofreverse stack effect, it was observed that wind pressuresdo tend to counteract the .effect of the buoyancy forces

Another important factor – if not the most importantone – that can control the overall performance of a build-ing in relation to stack effect, is the airtightness specifi-cation of the

ternal flow paths; low occupant comfort lev excessivepressure differentials across internal swing / doorswhich could as well lead to operational difficult ineffi-cient and uneconomical use of the HVAC syst poorperforming smoke propagation control strategy; sub-optimal performance of the emergency ventila whichcould as well lead to an ineffective fire safety strat .forthe build

References

-Achakji, G.Y. and Tamura, G.T. (1988). Pressure Drop Cha racteristics of Typical Stairshafts in High Rise Buildings.ASHRAE Transactions, 94(1): 1223-1236.ASHRAE (2013). ASHRAE Handbook - Fundamentals 2013.ASTM -(2012). ASTM E283: Standard Test Method for Deter

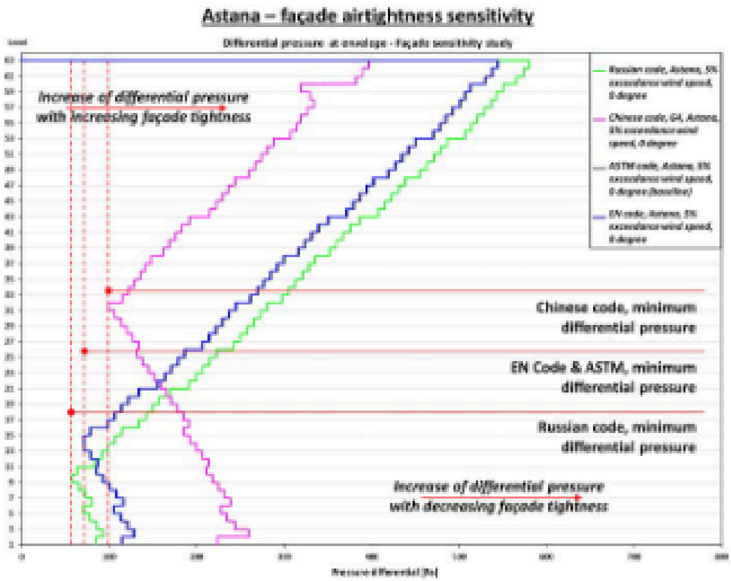
mining Rate of Air Leakage Through Exterior Windows,Cur Walls, and Doors Under Specified Pressure Dif-ferences Ac the Specimen.Baker, P.H., Sharples, S., and Ward, I.C. (1987) F

through Cracks, Building and Environment, Pergamon,22(4): 293-304.Dols, S.W. and Polidoro, B.J. (2015). CONTAM User Guide

and Program Documentation. NIST Technical Note 1887,Version 3.2n.Emmerich, S.J. (2001). Validation of

façade system. Poor performing façades canonly provide low air flow resistance and this, in turn, canlead to: higher infiltration and exfiltration rates throughthe building -envelope; excessive air movement across in

Multizone IAQ Modeling of Residential-Scale Buildings: A Review, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, .MD.ASHRAE Transactions 2001, V. 107, Pt. 2. CI-01-8-1



- EN (2005). EN 1991-1-4: Eurocode 1: Action on structures
Part 1-4: General actions wind actions.EN (2012). EN 12152:
- Curtain walling - Air permeability
Performance requirements and Classification.ESDU (2001).
-Computer program for wind speeds and turb
ulence properties: flat or hilly sites in terrain with rough-
ness changes - Data Item 01008. Engineering
.ScienceData Unit, Item 01008

GB/T (2007). GB/T 21086-2007: Curtain wall for Building.Jo, J.-H.,
-M.-S., and Kim, K.-W. (2007). Effect of E
ing Design on Pressure-related Problems in H
riseResidential Buildings. ARCC Spring Resea
Conference,Eugene, Oregon.СНиП (2011). СНиП 23-02-20
,Тепловая защита зда
Актуализированная редакция. Министерство регионa-льн
.развития, Российской Федера