

ČVUT v Praze  
Fakulta stavební  
Katedra technických zařízení budov

# Kvalita vnitřního prostředí v budovách s téměř nulovou spotřebou energie

prof. Ing. Karel Kabele, CSc.



EVROPSKÁ UNIE  
Evropské strukturální a investiční fondy  
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

# ENERGIE A BUDOVY

(C) 2018 Katedra TZB FSv /  
Laboratoř vnitřního prostředí  
UCEEB ČVUT v Praze

# Energetická náročnost budov



„energetickou náročností budovy se rozumí **vypočtené množství energie** nutné pro pokrytí potřeby energie spojené s užíváním budovy, zejména na

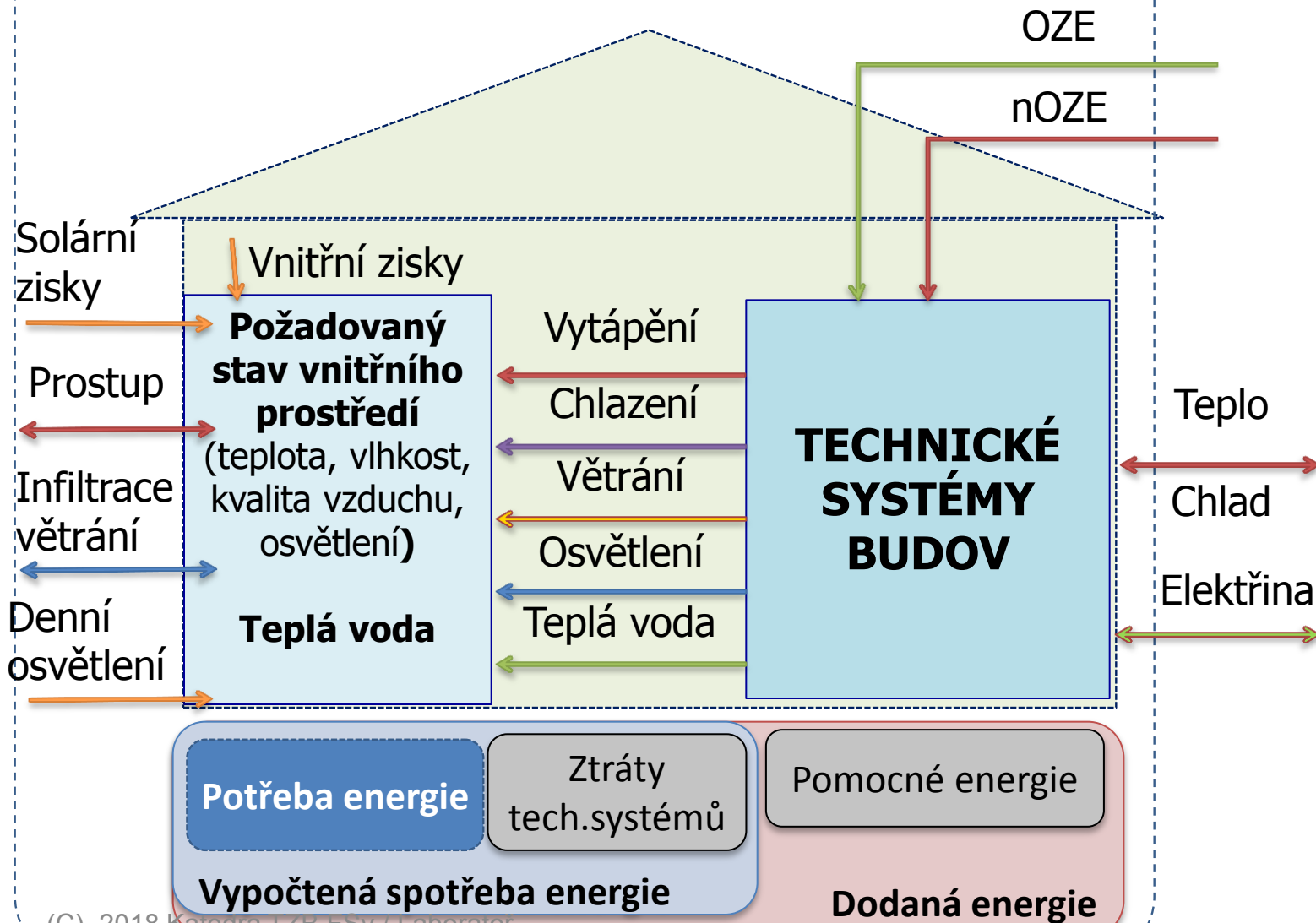
- **vytápění,**
- **chlazení,**
- **větrání,**
- **úpravu vlhkosti vzduchu,**
- **přípravu teplé vody a**
- **osvětlení“**



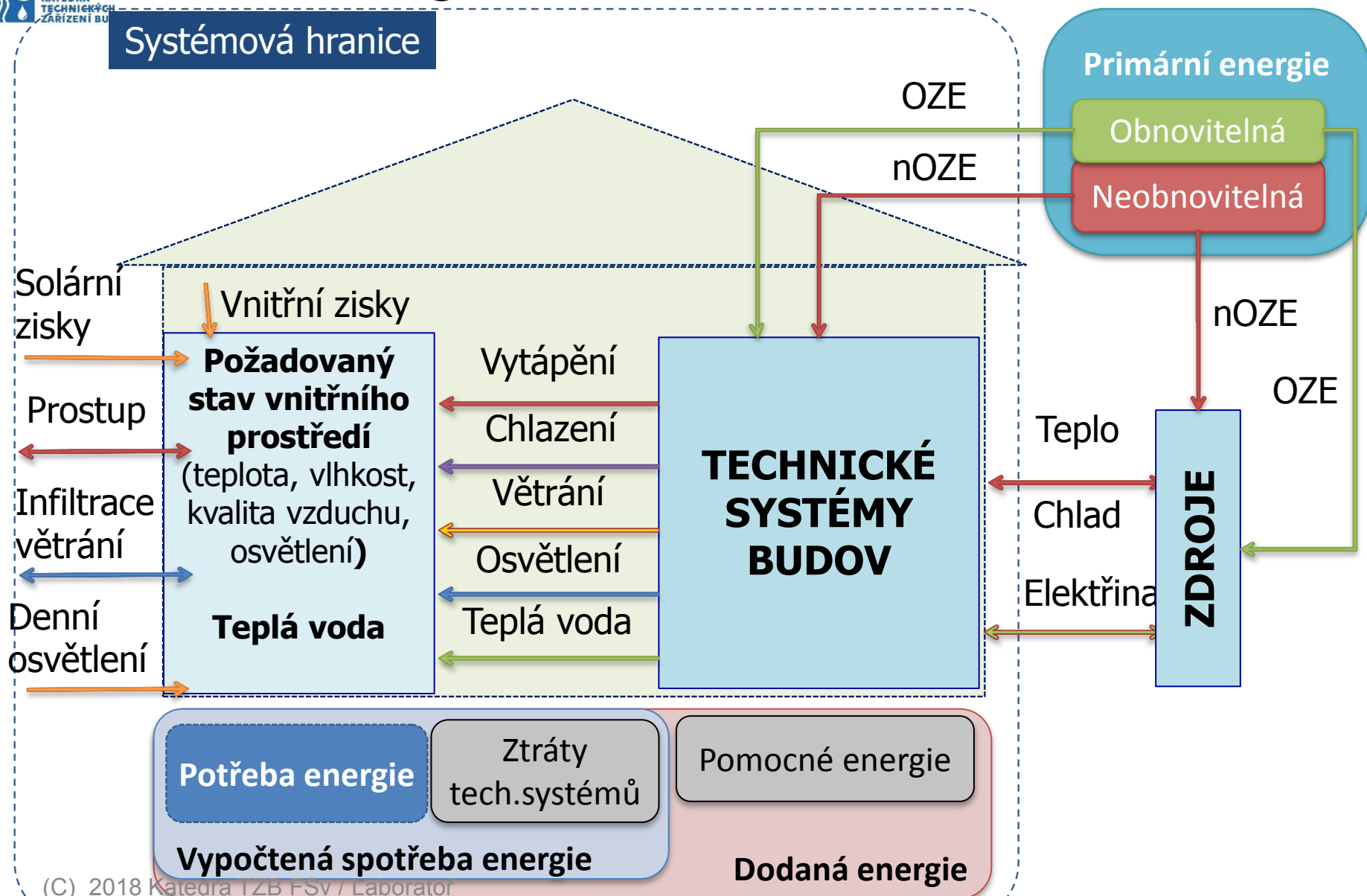
Zdroj: Zákon 406/2000 Sb. o hospodaření energií ve znění 103/2015 Sb.

# Energetická náročnost budov

**Systemová hranice**



# Energetická náročnost budov



# Co je to budova s téměř nulovou spotřebou energie?

Požadavky na budovy s téměř nulovou spotřebou energie (nZEB) jsou definovány:

- v zákonu **406/2000 Sb. o hospodaření energií** (aktuální úprava 103/2015 Sb., platí od 1.7.2015; 131/2015 Sb platí od 1.1.2016)

*...budovou s téměř nulovou spotřebou energie je budova s velmi nízkou energetickou náročností, jejíž **spotřeba energie je ve značném rozsahu pokryta z obnovitelných zdrojů....***

- Ve vyhlášce **78/2013 o energetické náročnosti budov** (aktuální novela 230/2015 Sb. platí od 1.12.2015 )
  - *Snížení ENB : zpřísnění požadavku na obálku budovy*
  - *Využití OZE : zpřísnění požadavku na neobnovitelnou primární energii*

# Cesta k budově s téměř nulovou spotřebou energie - ČR



	>1500 m <sup>2</sup>	> 350 m <sup>2</sup>	< 350 m <sup>2</sup>
Budovy, jejímž vlastníkem a uživatelem bude orgán veřejné moci nebo subjekt zřízený orgánem veřejné moci	Od 1.1.2016	Od 1.1. 2017	Od 1.1 2018
Ostatní	Od 1.1 2018	<b>Od 1.1 2019</b>	<b>Od 1.1 2020</b>

A sunlit room with a checkered floor, wicker chairs, a glass table, and large windows with indoor plants. The room is filled with natural light from a row of windows, casting shadows on the floor. Several indoor plants are visible, including a tall, thin plant in the center and various leafy plants around the perimeter. Two wicker chairs with red cushions are positioned around a round glass table with a wicker base. The floor is covered in a black and white checkered tile pattern.

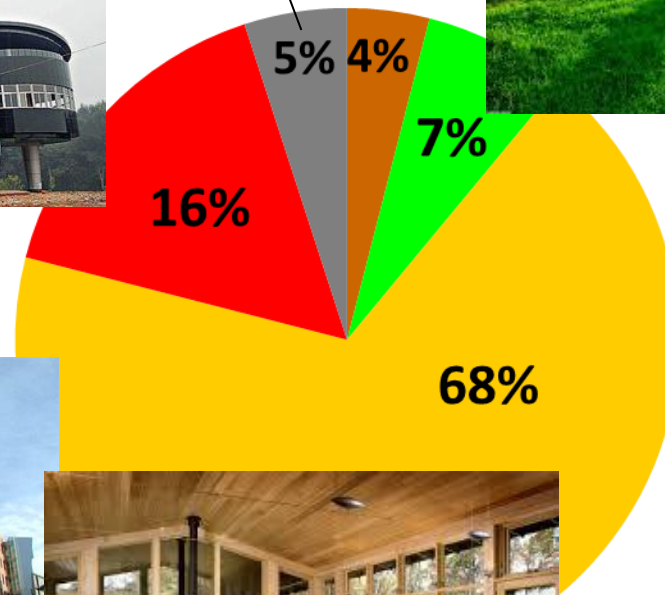
# VNITŘNÍ PROSTŘEDÍ BUDOV

© 2016 Katedra TZB FSv /  
Laboratoř vnitřního prostředí  
UCEEB ČVUT v Praze



# VNITŘNÍ PROSTŘEDÍ BUDOV

V budovách trávíme více než 80 % svého života...



- Ulice s dopravou
- Venku mimo ulice
- Obytný prostor
- Vnitřní ostatní
- Dopr.prostředky



Zdroj: Braniš, M., Kolomazníková, J. (2010) o PM2.5 recorded by a fast responding portable nephelometer. Atmospheric Environment 44(24): 2865-2872

# POHODA PROSTŘEDÍ

*„Stav mysli, který vyjadřuje uspokojení s prostředím“ (Fanger 1970 - ASHRAE)*

*„Souhrn podmínek, za nichž si subjekt neuvědomuje stav prostředí“ (Saini 1971)*

*„Pohoda je neexistence zbytečné tísně při dané činnosti...“ (Brundrett 1974)*

*„Takový stav prostředí, při kterém se lidé v uvažovaném prostoru subjektivně cítí co nejlépe a jsou tedy též schopni maximálního pracovního výkonu ať již fyzického či duševního, nebo co nejúčinnějšího odpočinku..“ (Jokl 1986)*

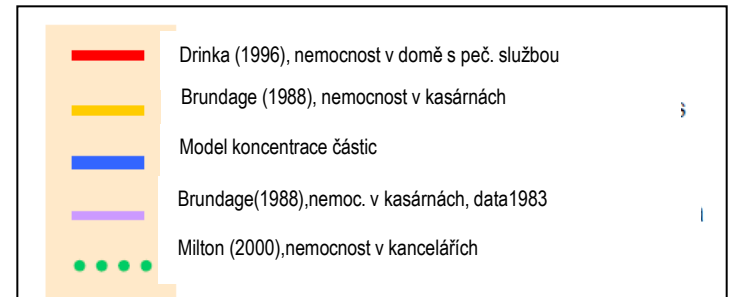
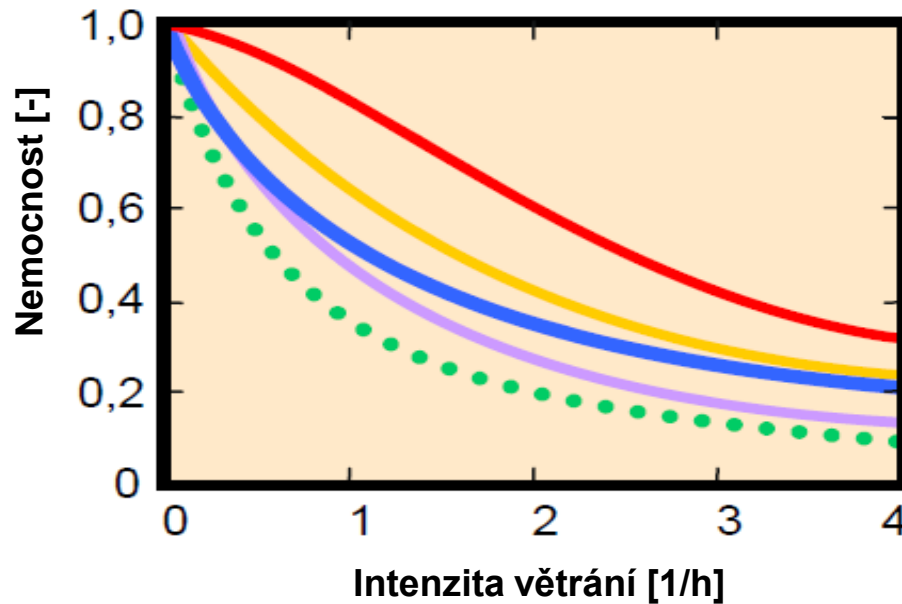


# VNITŘNÍ PROSTŘEDÍ BUDOV

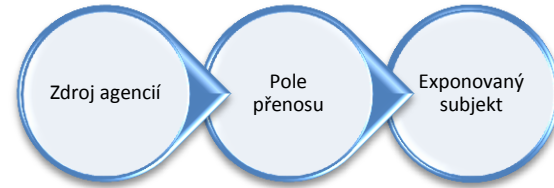
- **Zdraví**
- **Pohodu uživatelů**
- **Produktivitu práce**
- **Spotřebu energie**



J. Adam Huggins for The New York Times 26.7.2007



# VNITŘNÍ PROSTŘEDÍ BUDOV



## Složky vnitřního prostředí

- Tepelně-vlhkostní
- Kvalita vzduchu
  - plyny
  - aerosoly
  - mikroorganismy
- Akustika
- Světelná
- Elektro -statická, -iontová, -magnetická, ionizující a radiační pole
- Psychický komfort (barvy, povrchy, architektura...)

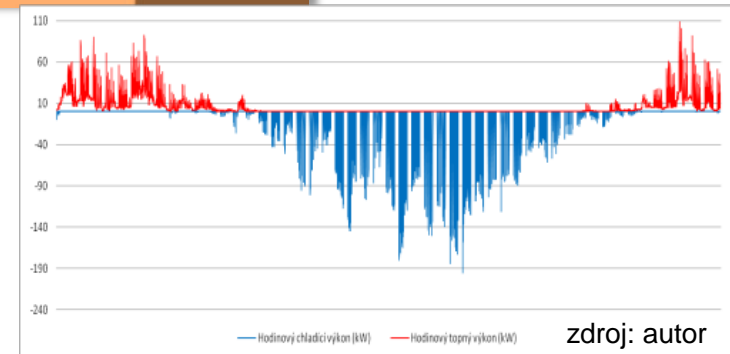
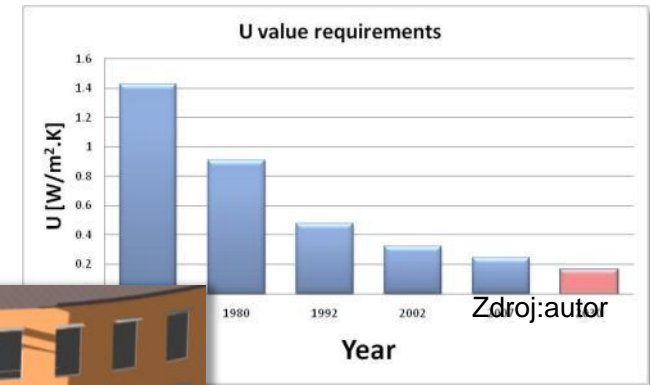
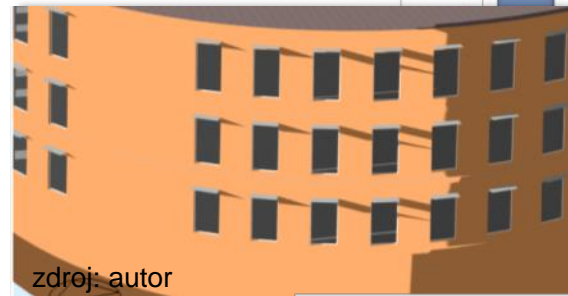


Zdroj : Jokl 1986

# Obálka budovy

## Fasáda

- Tepelná izolace - limit?
- Pokročilé materiály
  - Vakuové izolace
  - PCM materiály
- Aktivní fasády
  - Dvojité fasády
  - Chytré „stínění“
  - Integrované PV ,PT systémy



**Snížení potřeby tepla a chladu**

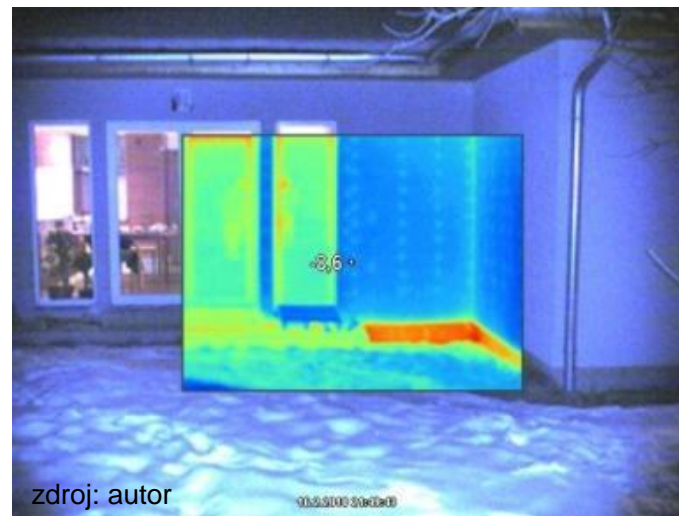
# Obálka budovy

## Okna

- Zasklení
- Tepelné mosty

Aktivní zasklení –  
electrochromatická?

Minimalizace tepelné ztráty a zátěže  
Zajištění denního osvětlení

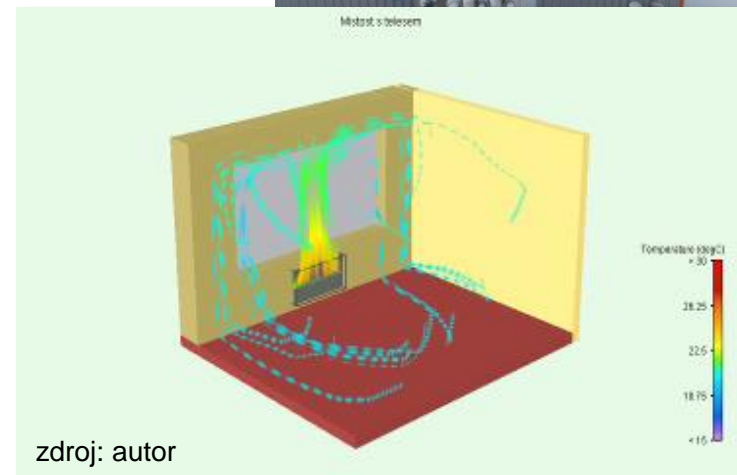
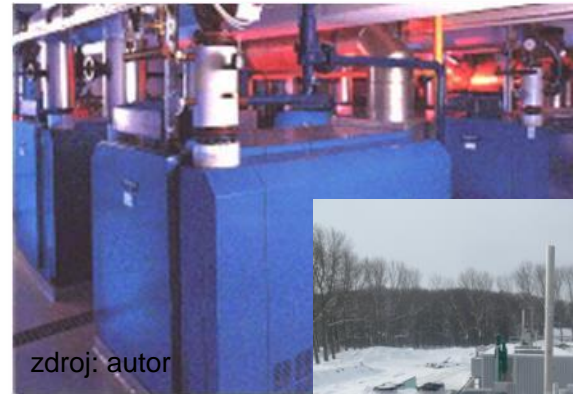


# Vytápění budov

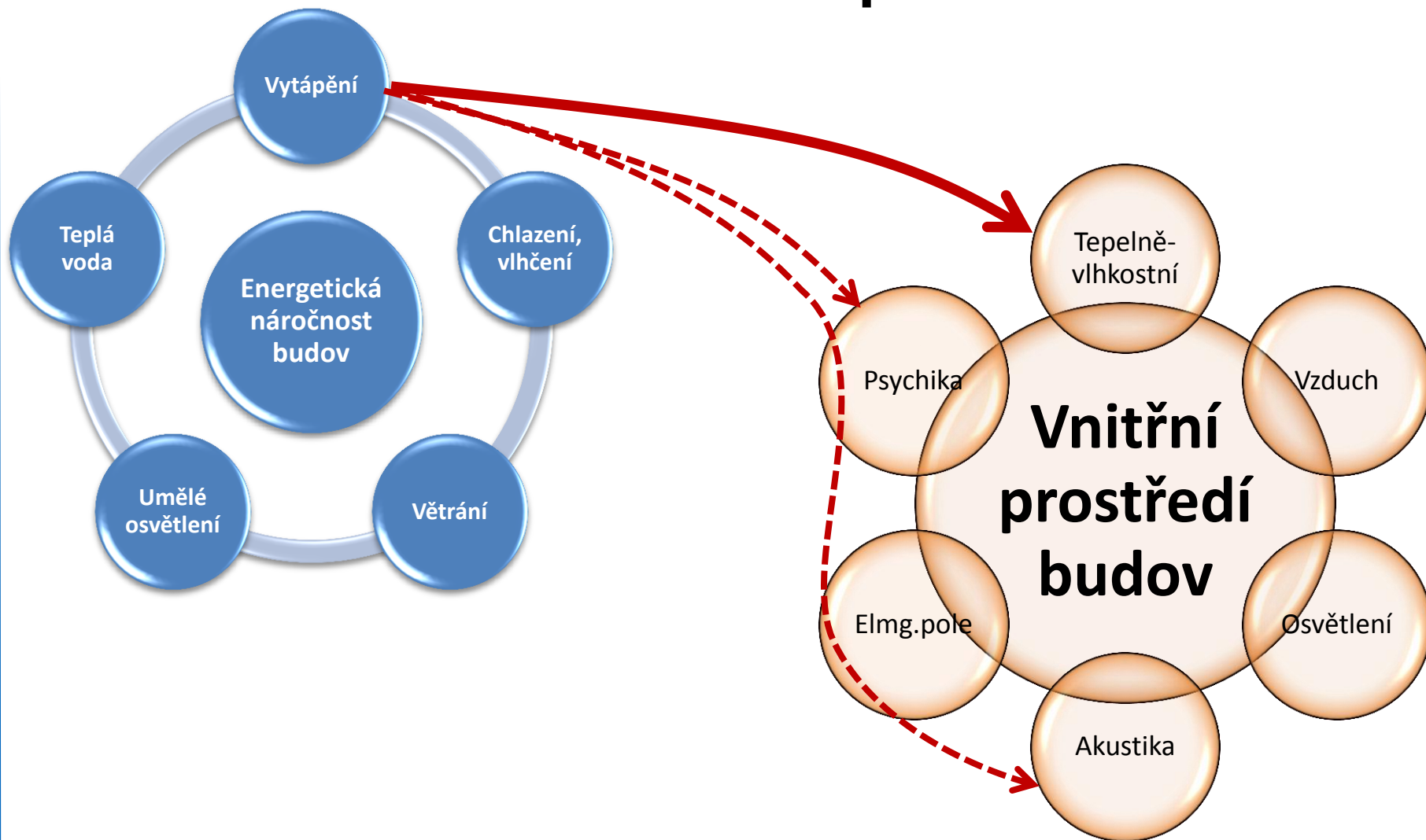
## Vytápění

- Obnovitelné zdroje
- Akumulace tepla
- Účinné zdroje
- Účinná distribuce tepla (čerpadla)
- Emise tepla
- Měření a regulace

Účinné zdroje a regulace výkonu  
Obnovitelné zdroje



# Budova a vnitřní prostředí...

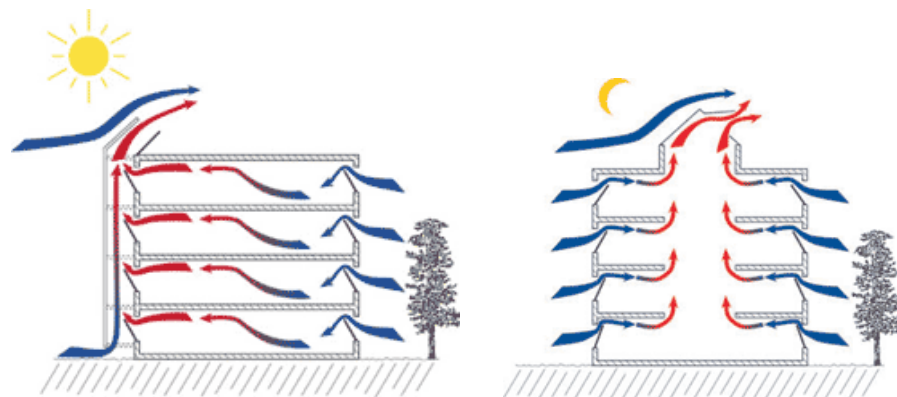




# Větrání

- Optimalizace množství větracího vzduchu
- CO<sub>2</sub>, VOC, IAQ senzory
- Nízkotlaké distribuční sítě
- Přirozené větrání
- Strategie regulace

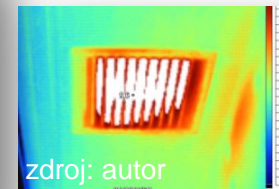
Přirozené systémy větrání  
Řízené nucené větrání



zdroj: <http://passivesolar.weebly.com>



zdroj: autor



zdroj: autor



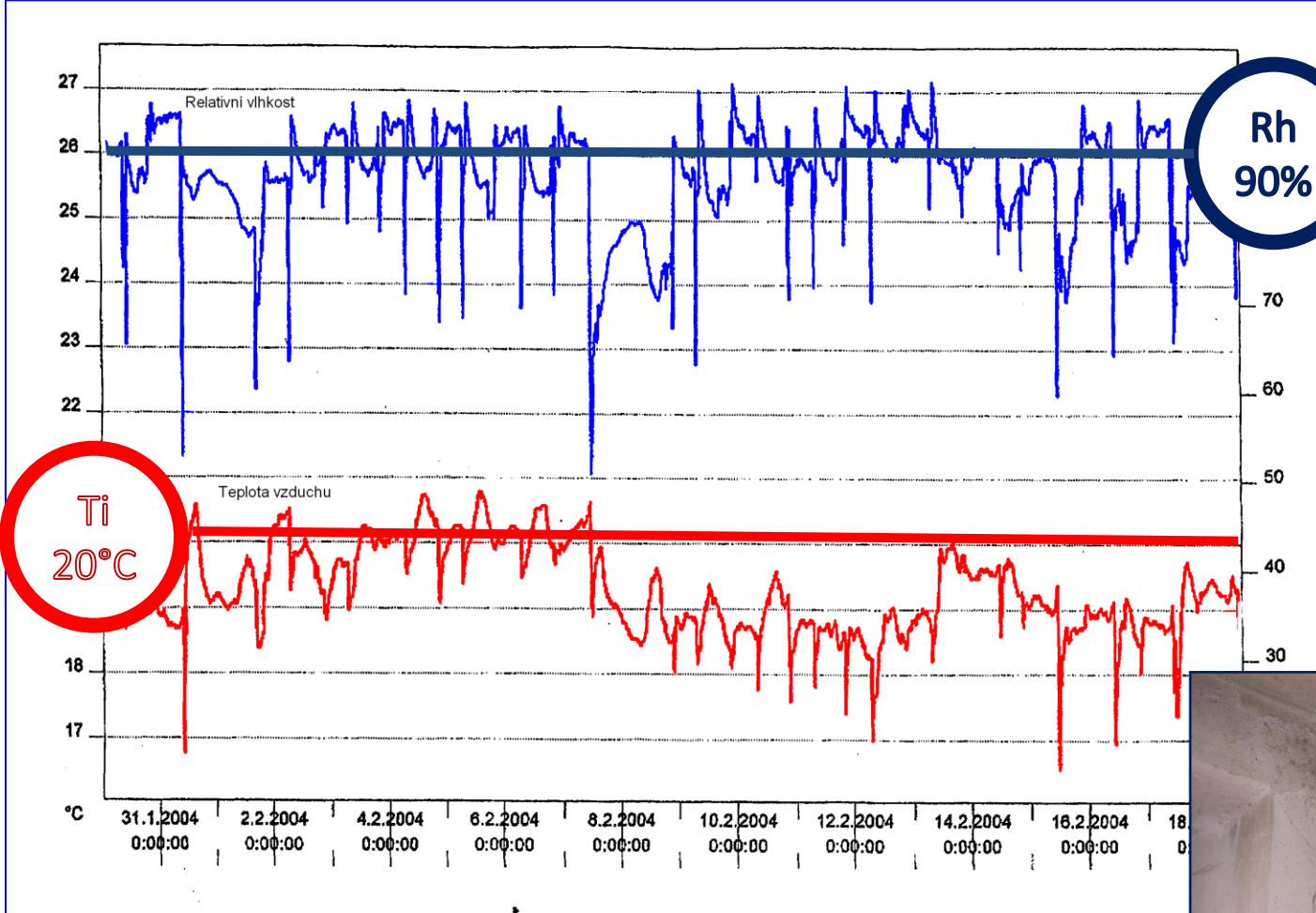
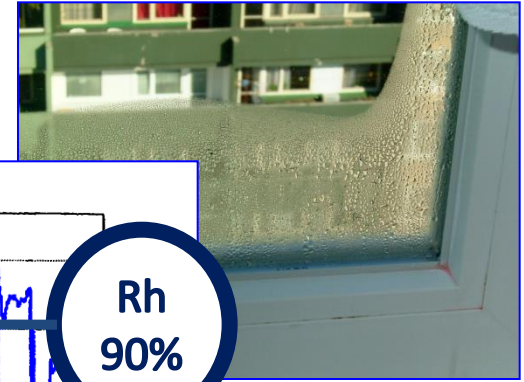
zdroj: autor



# Příklad: důsledek



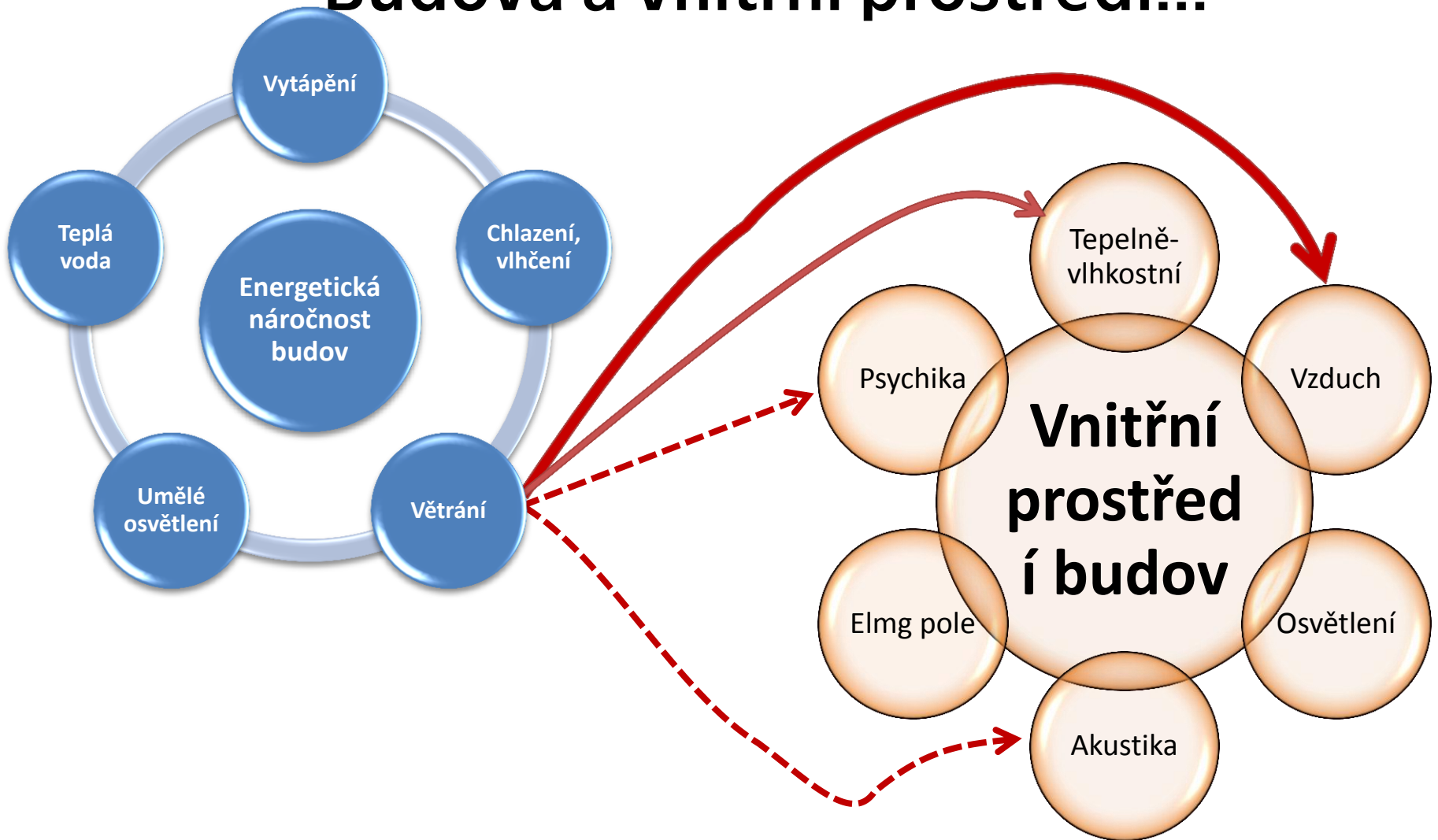
# "energeticky vědomého"



Zdroj : Kabele 2006

(C) 2018 Katedra TZB FSv / Laboratoř  
vnitřního prostředí UCEEB ČVUT v Praze

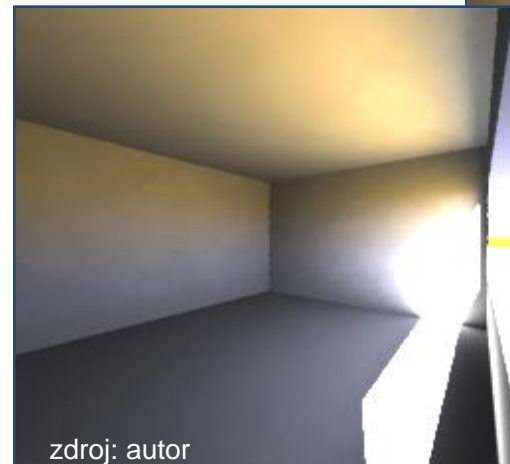
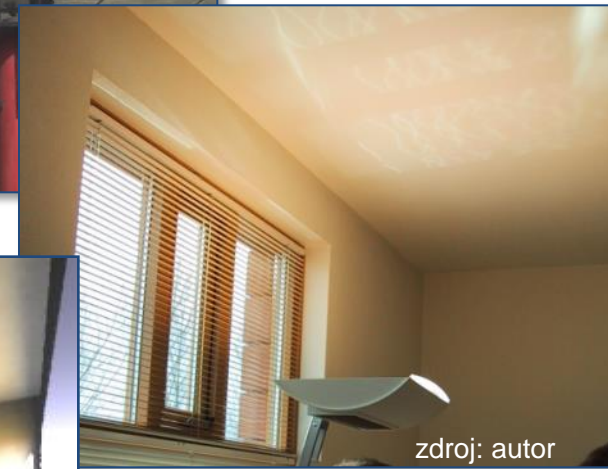
# Budova a vnitřní prostředí...



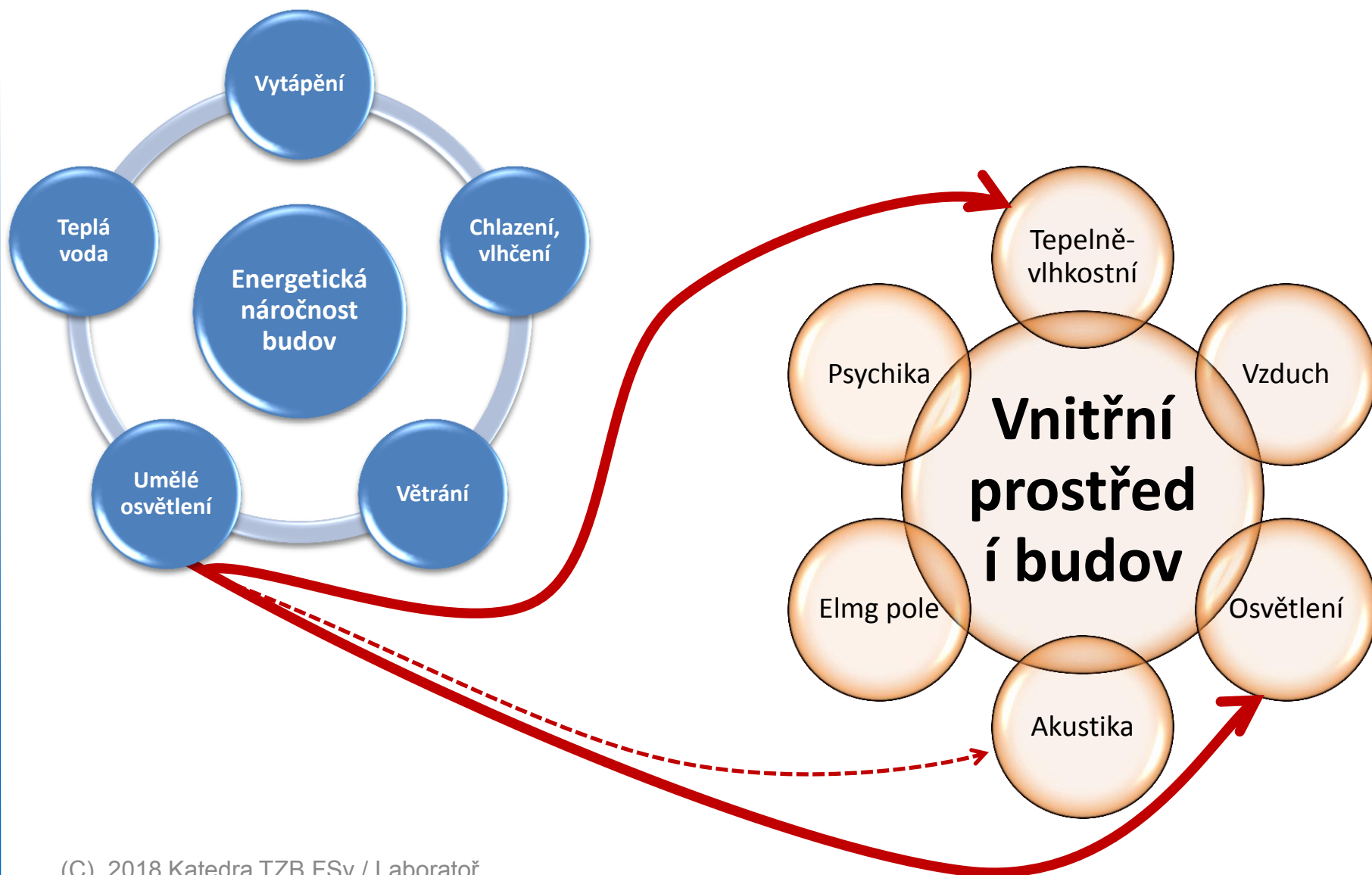
# Světlo

**Denní a smíšené  
osvětlení**  
**Světlovody**  
**Účinné zdroje - LED?**  
**Regulace**

**Denní osvětlení**  
**Umělé - nové zdroje**



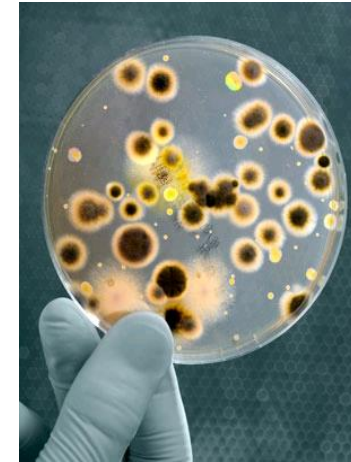
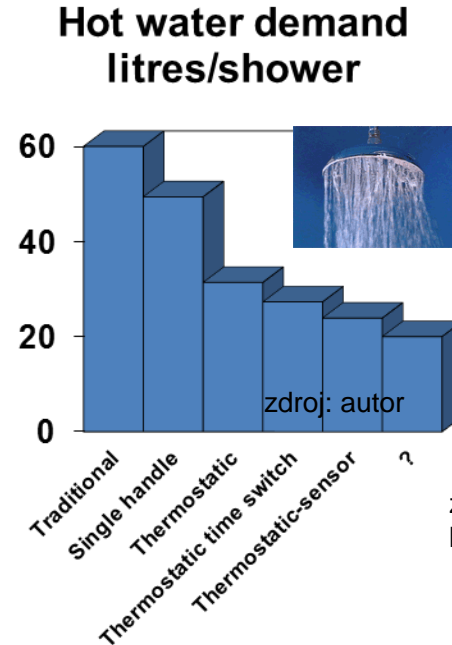
# Budova a vnitřní prostředí...



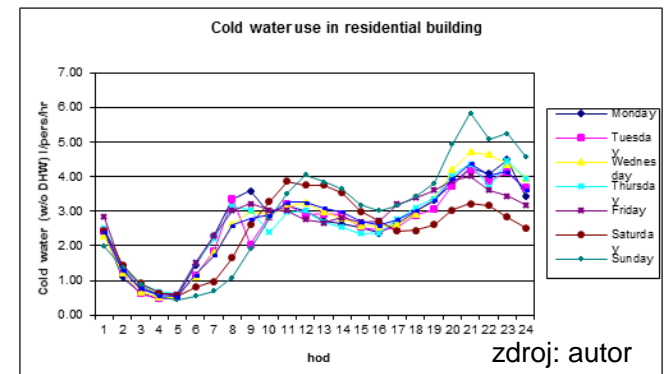
# Teplá voda

- Spotřeba teplé vody !!
- Účinná příprava TV
- Teplota
- Distribuční síť
  - Cirkulace
  - Ovládání
- Legionella!!!!

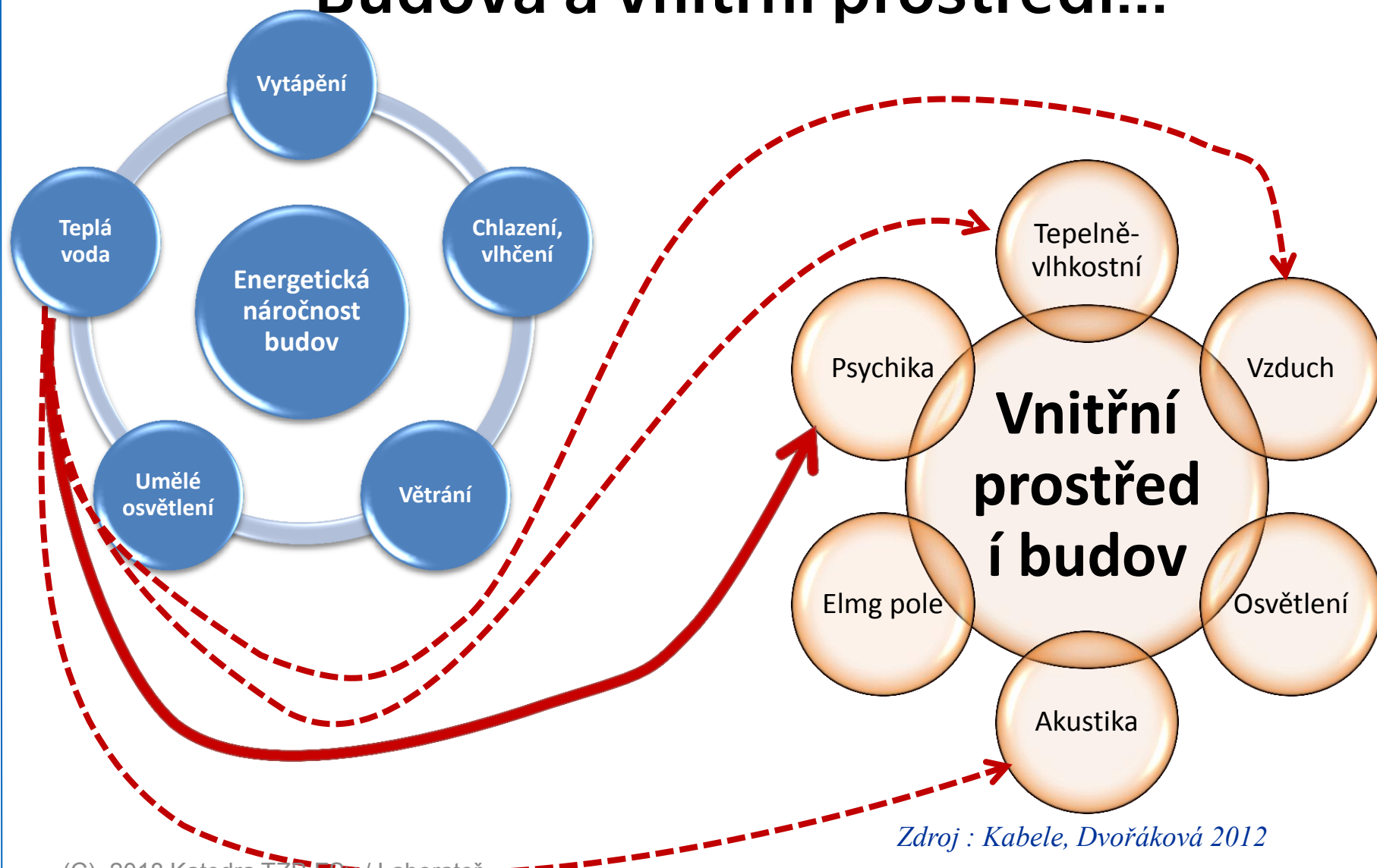
Teplota vody - hygiena  
Lidský faktor



zdroj:  
<http://www.waterhygieneireland.ie>

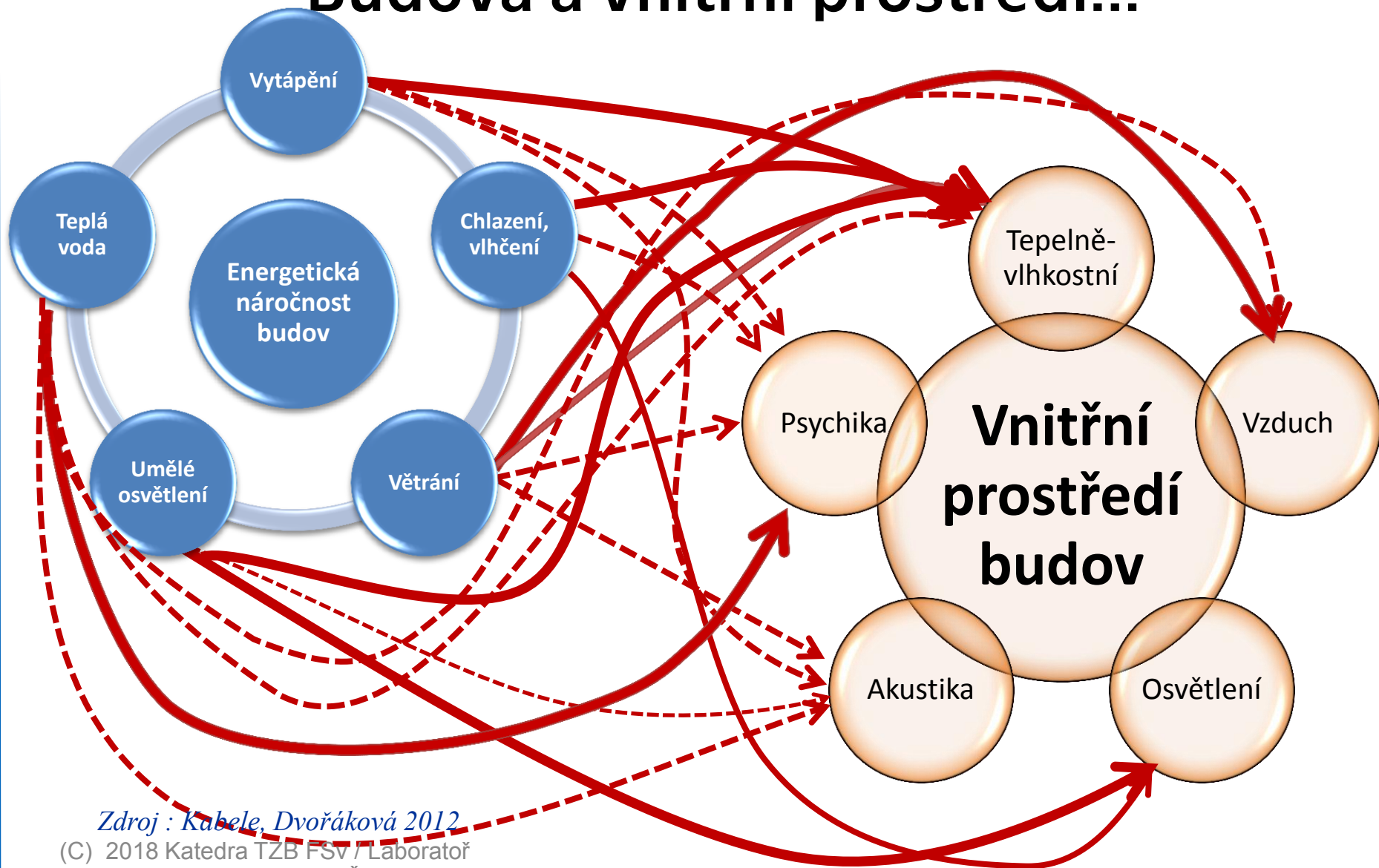


# Budova a vnitřní prostředí...



Zdroj : Kabele, Dvořáková 2012

# Budova a vnitřní prostředí...



Zdroj : Kubele, Dvořáková 2012

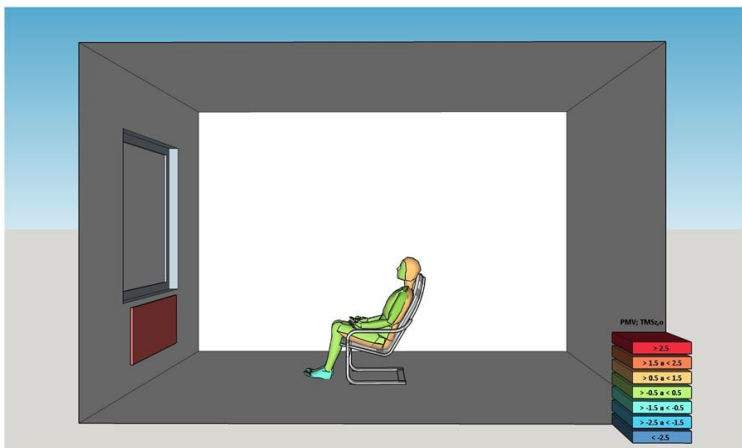
(C) 2018 Katedra TZB FSV / Laboratoř  
vnitřního prostředí UCEEB ČVUT v Praze



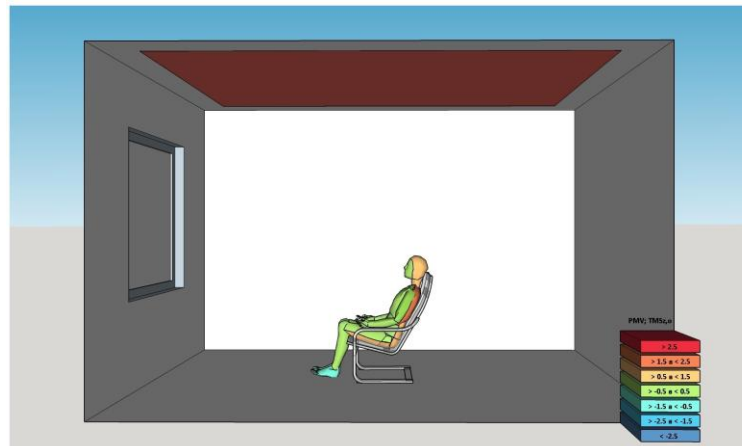
# VÝZKUM

# **SUBJEKTIVNÍ VNÍMÁNÍ TEPELNÉ POHODY PŘI RŮZNÝCH ZPŮSOBECH VYTÁPĚNÍ**

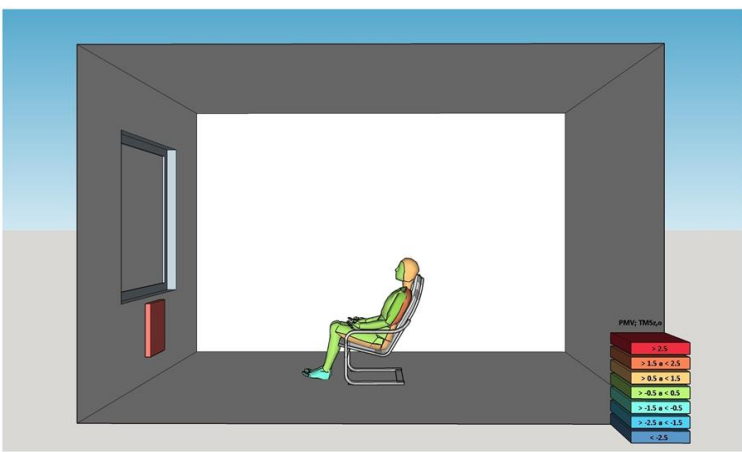
# Varianty umístění otopných ploch v experimentální kabině



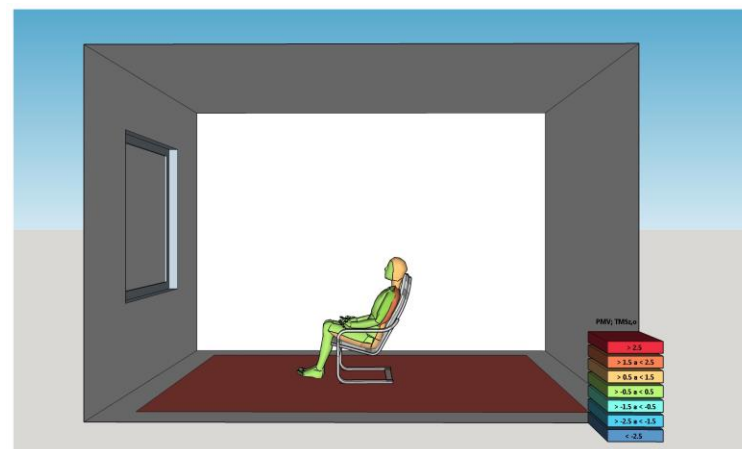
Konvektor



Stropní sálavé vytápění

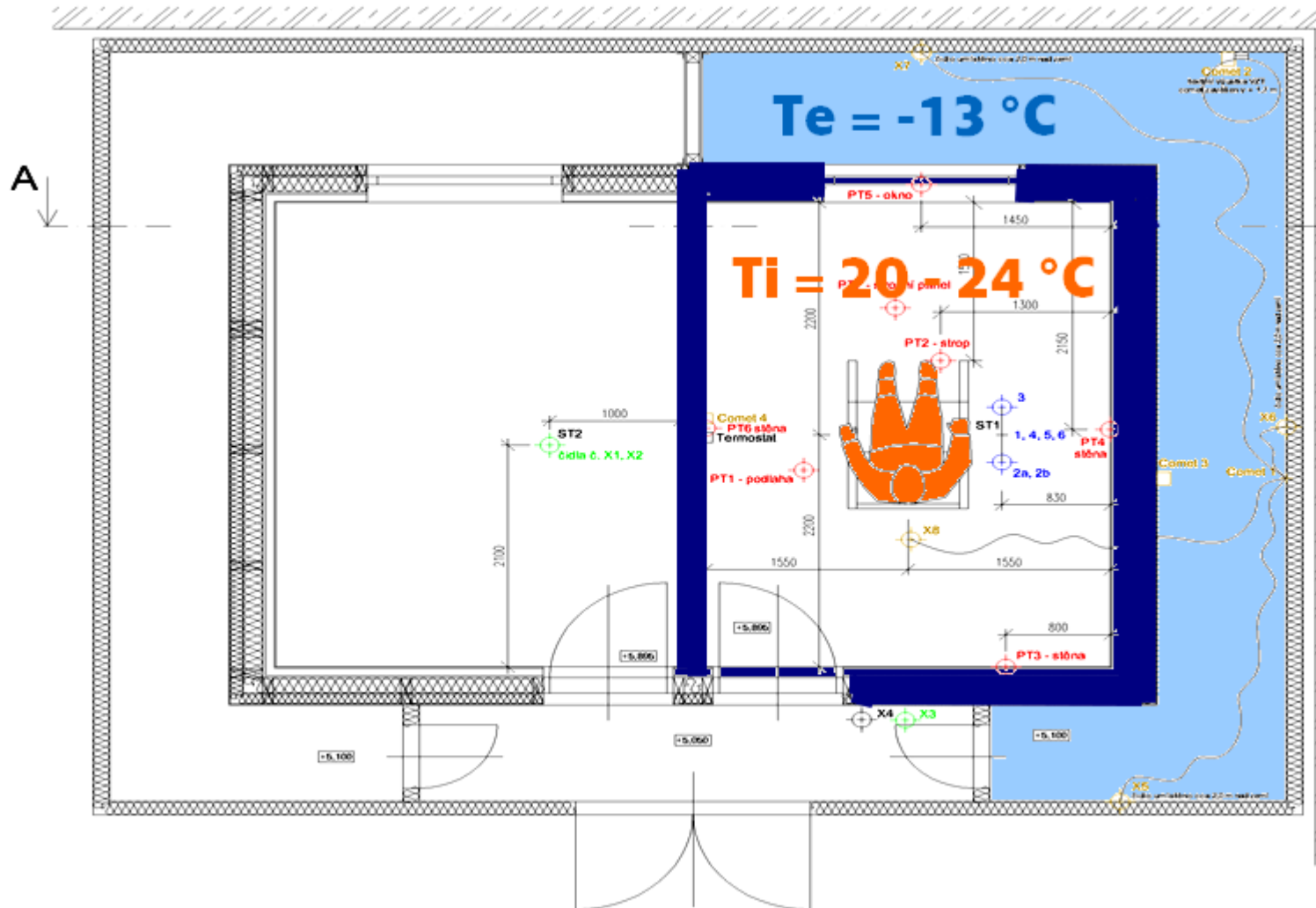


Keramický panel



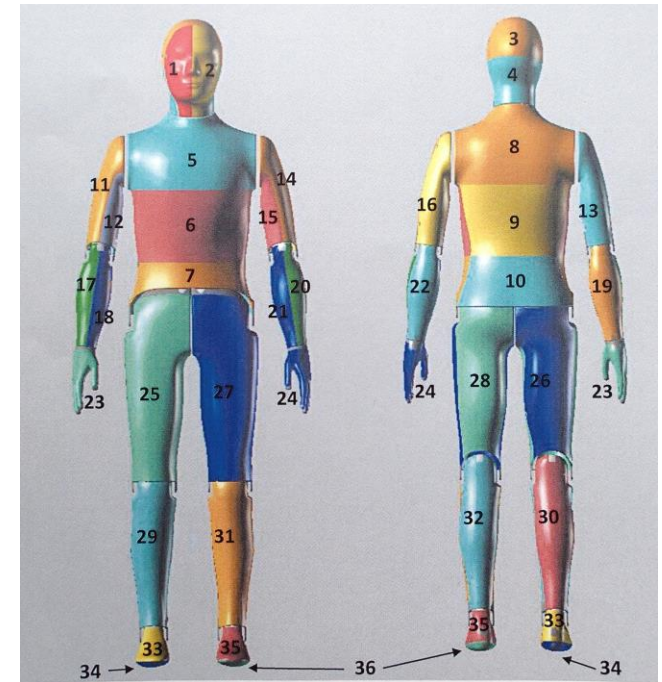
Podlahové vytápění

# Experimentální prostor – klimatická kabina



# Metoda

- UCEEB) Analýza měření provedených na termálním manekýnovi (TM) – vnímání tepelného komfortu jednotlivými částmi těla**
- **Nastavení TM: 70 W citelného tepla; 1,3 clo; bez dýchání.**

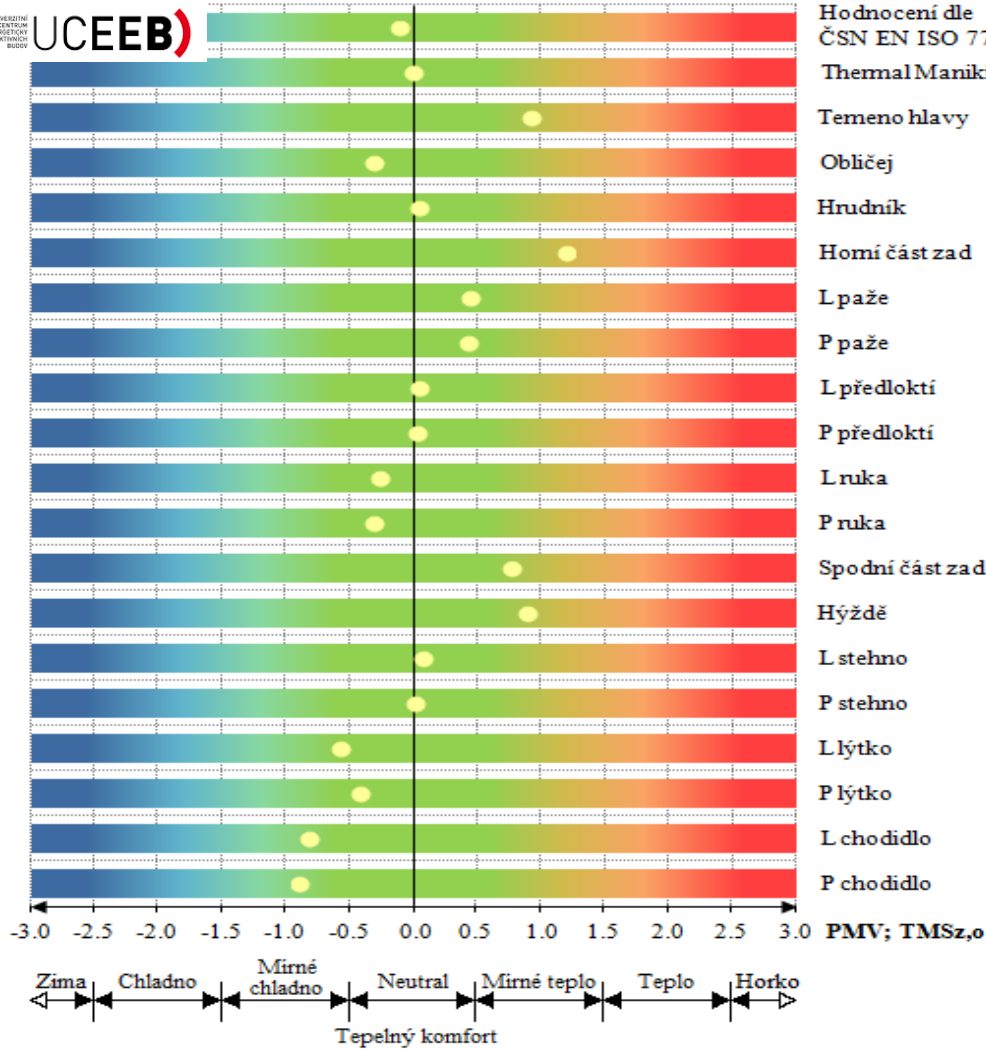


TM Newton: 32 termálních zón, dýchání, pohyb hlavy

Vyhodnocení metodou TMS - přepočítání tepelné bilance zóny na stupnici PMV

# KERAMICKÝ PANEL

UCEEB



Hodnocení dle ČSN EN ISO 7730

Thermal Manikin - celé tělo

Temeno hlavy

Obličej

Hrudník

Horní část zad

L paže

P paže

L předloktí

P předloktí

L ruka

P ruka

Spodní část zad

Hýždě

L stehno

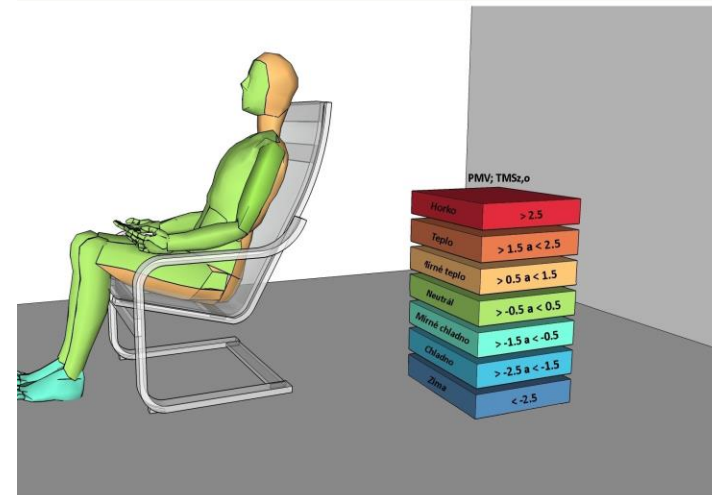
P stehno

L lýtko

P lýtko

L chodidlo

P chodidlo



● Keramický panel - poz. ST2 (tset = 22,0 °C; topt = 22,7 °C)

(C) 2018 Katedra TZB FSv / Laboratoř vnitřního prostředí UCEEB ČVUT v Praze

# Jak vystihuje informace z TM skutečný pocit člověka?

## Experiment na skupině 24 osob

- 12 situací, každá hodnocena 24 subjekty ve 3 časech = 288 testů / 864 měření
- Teploty, vlhkosti, CO<sub>2</sub>, Rh,
- Tep, aktivita, povrchové teploty těla
- Dotazník

Nastavení termostatu	T-	Topt	T+
konvektor	20	22.5	24
podlaha	20	22	24
keramický panel	20	22	24
strop	20	22.5	24



# DOTAZNÍK



ID experimentu:

Všechné osobní údaje jsou zpracovávány v souladu se zákonem č. 101/2000 Sb., „O ochraně osobních údajů a změně některých zákonů“ ve znění pozdějších předpisů.

FELIX - DOTAZNÍK PRO SUBJEKTIVNÍ HODNOCENÍ KVALITY VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ V 1.0 **1**

experiment:

**Jak se v TOMTO OKAMŽIKU cítíte?**

*Vyznačte na lince bod (viz. příklad):*

**PŘÍKLAD:**

- |                            |       |                          |
|----------------------------|-------|--------------------------|
| 1) Cítím se zcela uvolněně | _____ | Mám pocit velkého napětí |
| 2) Fyzicky velmi příjemně  | _____ | Fyzicky velmi nepříjemně |
| 3) Zcela bdělý/á           | _____ | Extremně unavený/á       |
| 4) Přijede n(-a)           | _____ | Zcela hladový/á          |

- 5) Mám vybornou náladu \_\_\_\_\_
- 6) Je mi ve lnu zima \_\_\_\_\_
- 7) V této chvíli se mi zdá teplota v této místnosti:  
Příjemná \_\_\_\_\_
- 8) Připadá mi, že je zle:  
Stojatý vzduch \_\_\_\_\_

Poznámky:

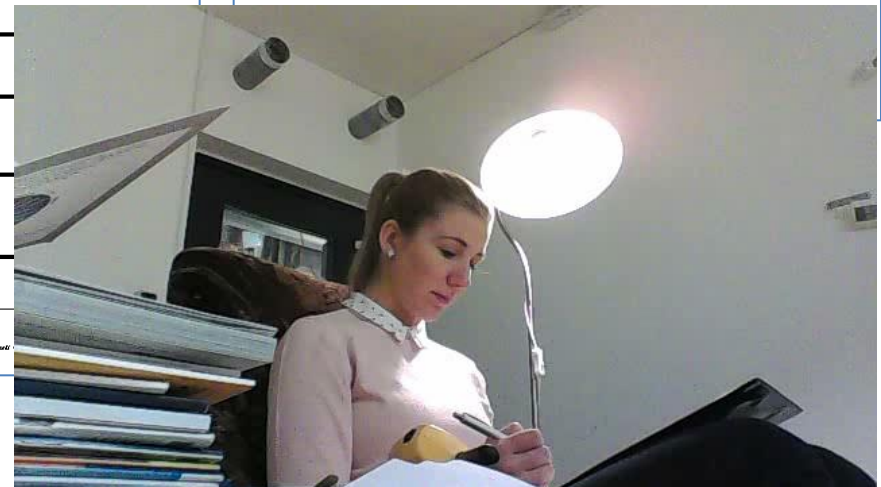
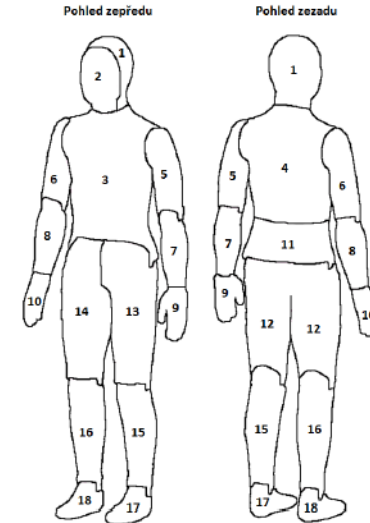
Vnitřní tabulka poskytnou vzhledem k číslu 101/2000 Sb., Duševně neobranitelné dílo

FELIX - DOTAZNÍK PRO SUBJEKTIVNÍ HODNOCENÍ KVALITY VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ V 1.0 **1**

13) Některé části mého těla jsou **CHLADNĚJŠÍ** / **TEPLEJŠÍ** než ostatní:

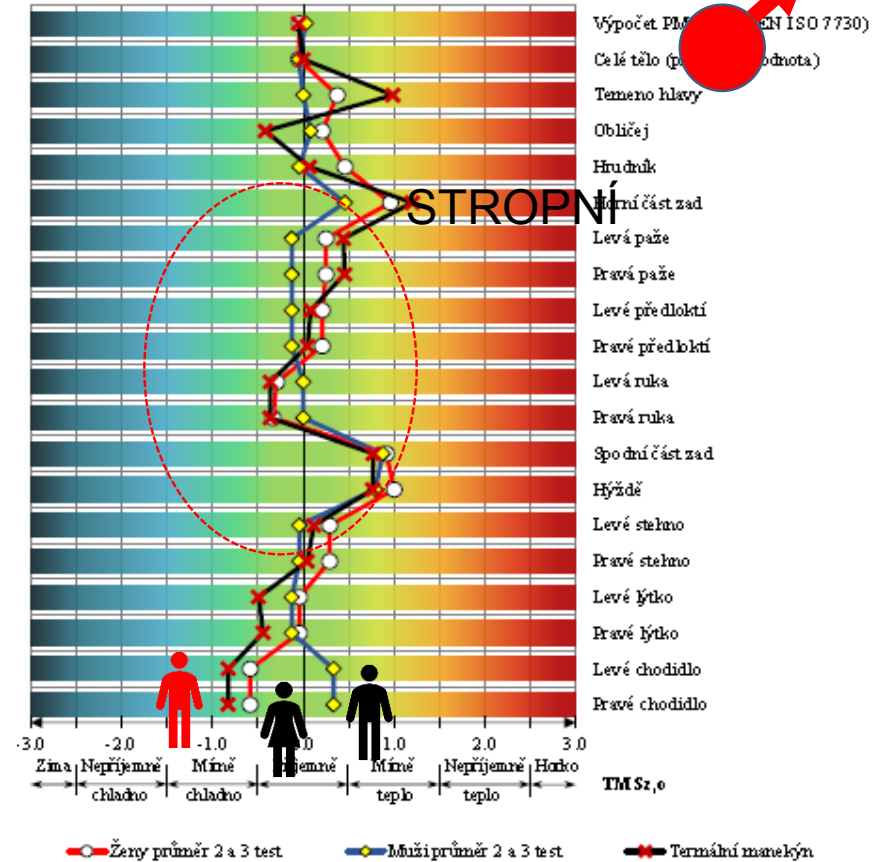
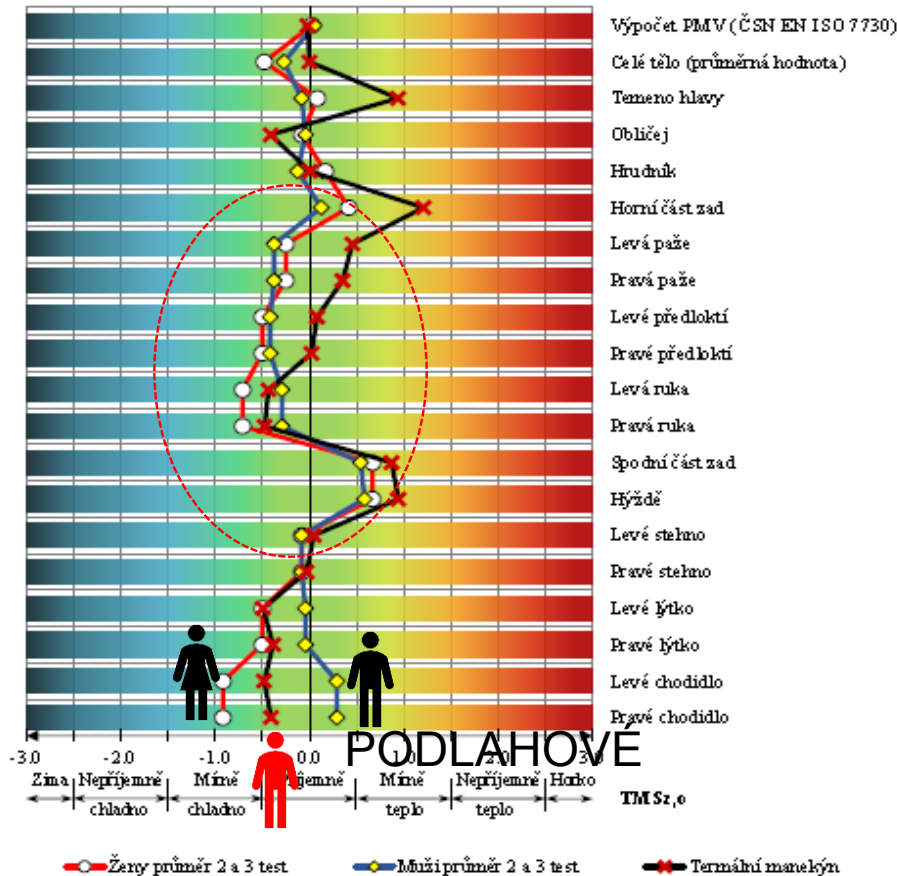
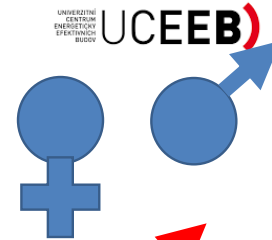
Identifikujte které - vyznačte na přiloženém obrázku jak se cítíte (zaškrtněte nebo vybarvěte); využijte barevnou stupnici pod obrázkem, re-vyznačené části budou vyhodnoceny jako tepelně neutrální pocit.

Vyznačte jednotně každou zónu (zóny nijak nerozděluje, zóny se stejnými čísly vyznačte stejně), celkový počet zón je 18.





# Podlahové x stropní vytápění

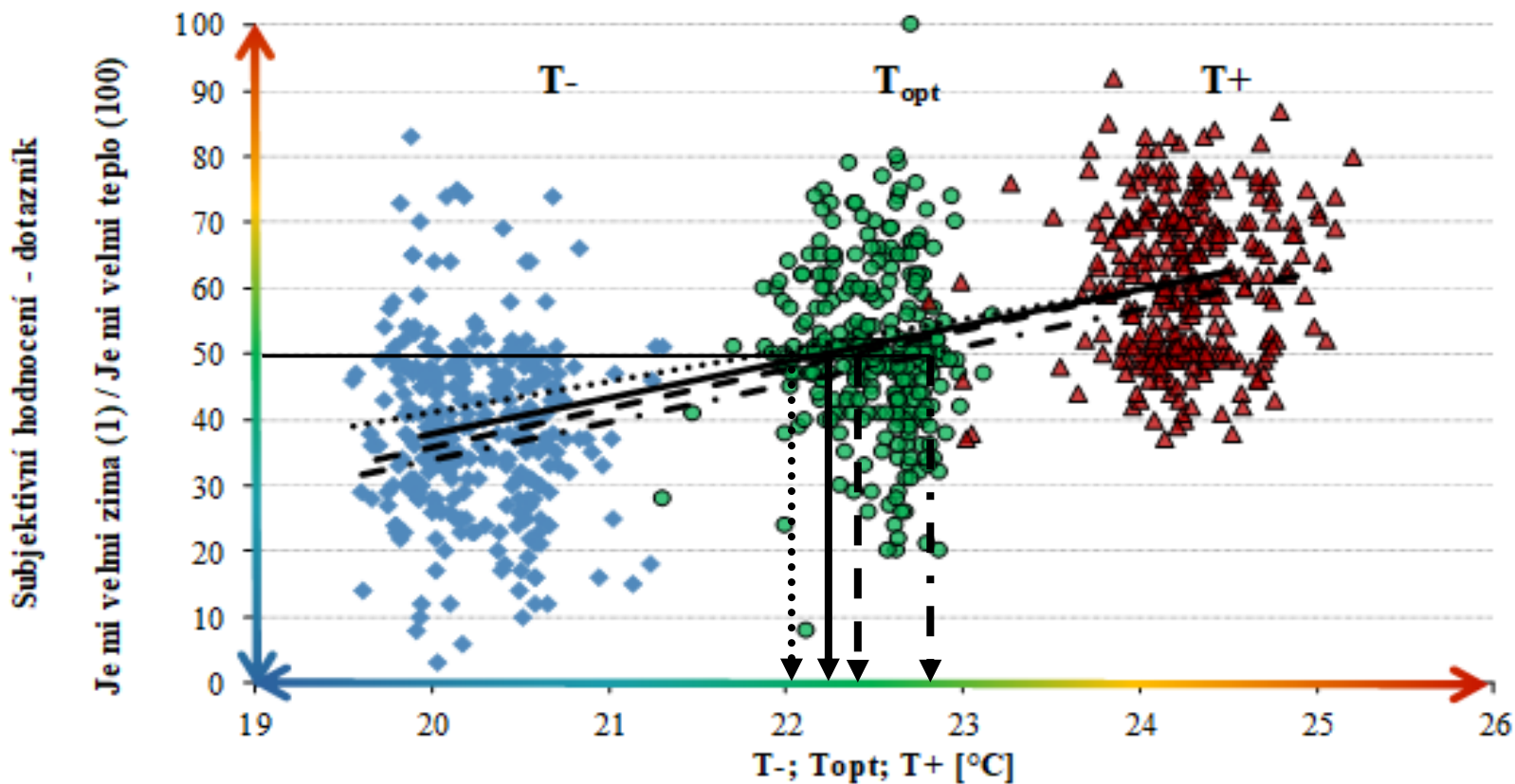


Obr. 10: Porovnání hodnocení tepelného komfortu - podlahové vytápění  $t_{air} = 22,0 \text{ }^\circ\text{C}$

Obr. 13: Porovnání hodnocení tepelného komfortu - stropní folie  $t_{air} = 22,5 \text{ }^\circ\text{C}$

Z porovnání grafů je patrný vliv sálavé složky stropního vytápění na horní část těla.

# Subjektivní hodnocení otopných systémů a teplota vzduchu



**Stropní fólie :21,9 °C; keramický panel 22,2 °C; konvektor 22,4 °C, podlahové vytápění 22,8 °C.**

Otázky, které se objevují...

# **MUSÍ BÝT V NZEB OTOPNÉ TĚLESO POD OKNEM?**

# Ukázka z PIV měření

poloha laserové roviny →

2D PIV , plocha 300 x 300 mm (proudění nad otopným tělesen)

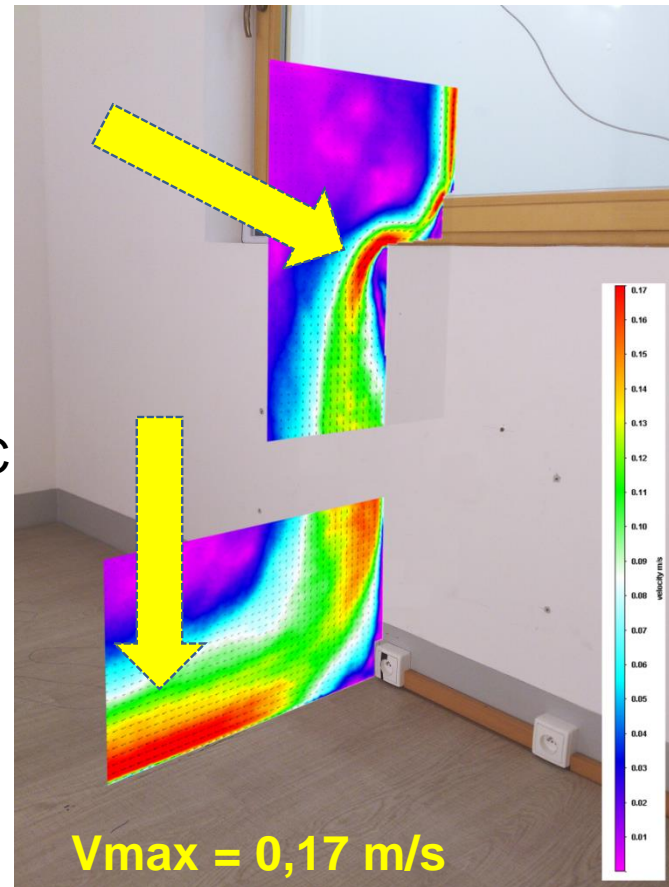
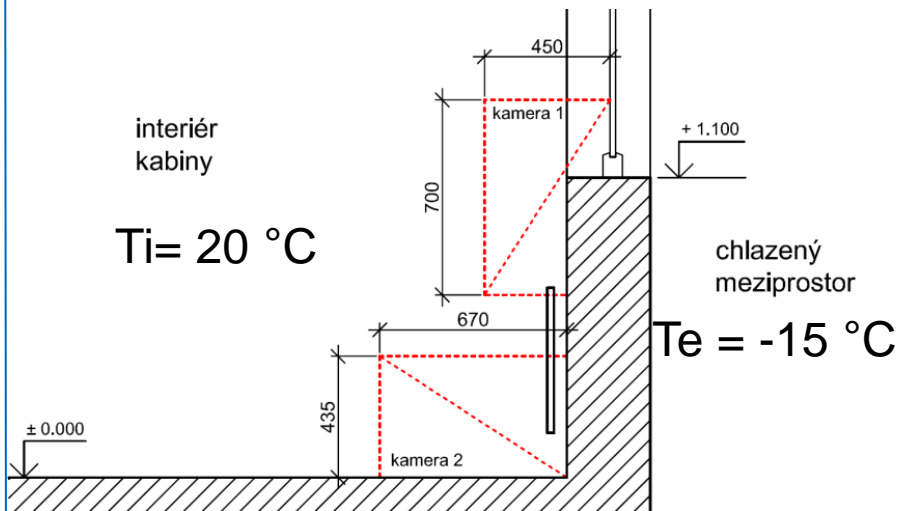
kamera

rozvaděč částic

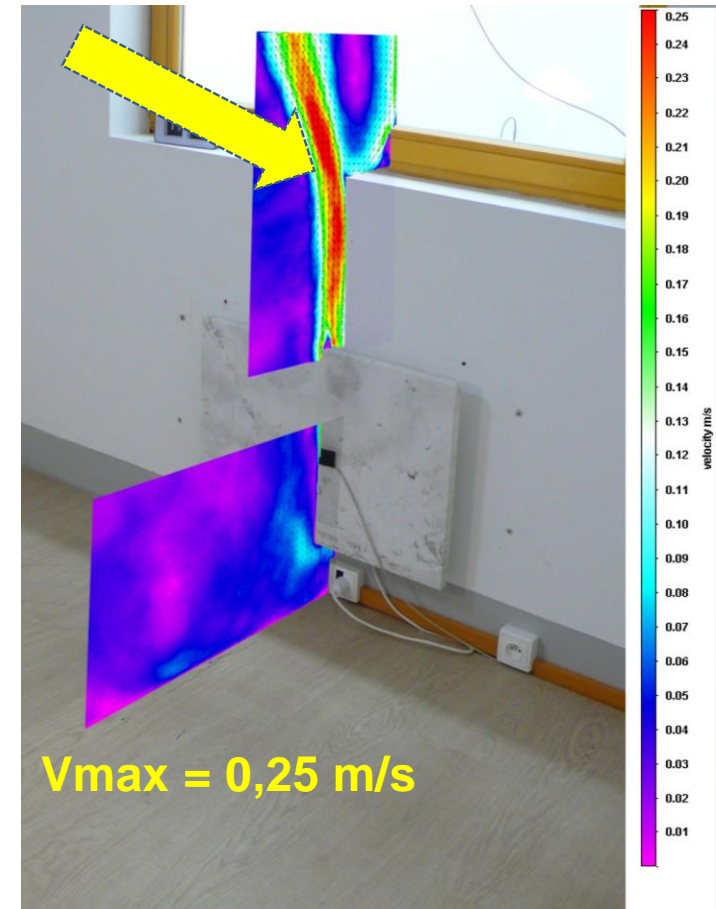
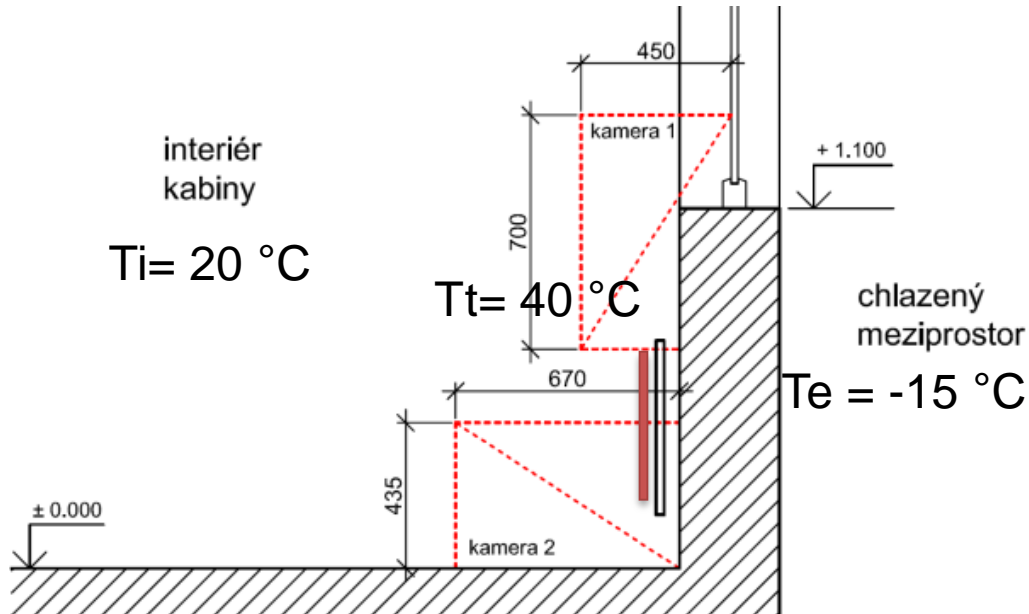
generátor olejových částic

laser

# Bez otopného tělesa pod oknem



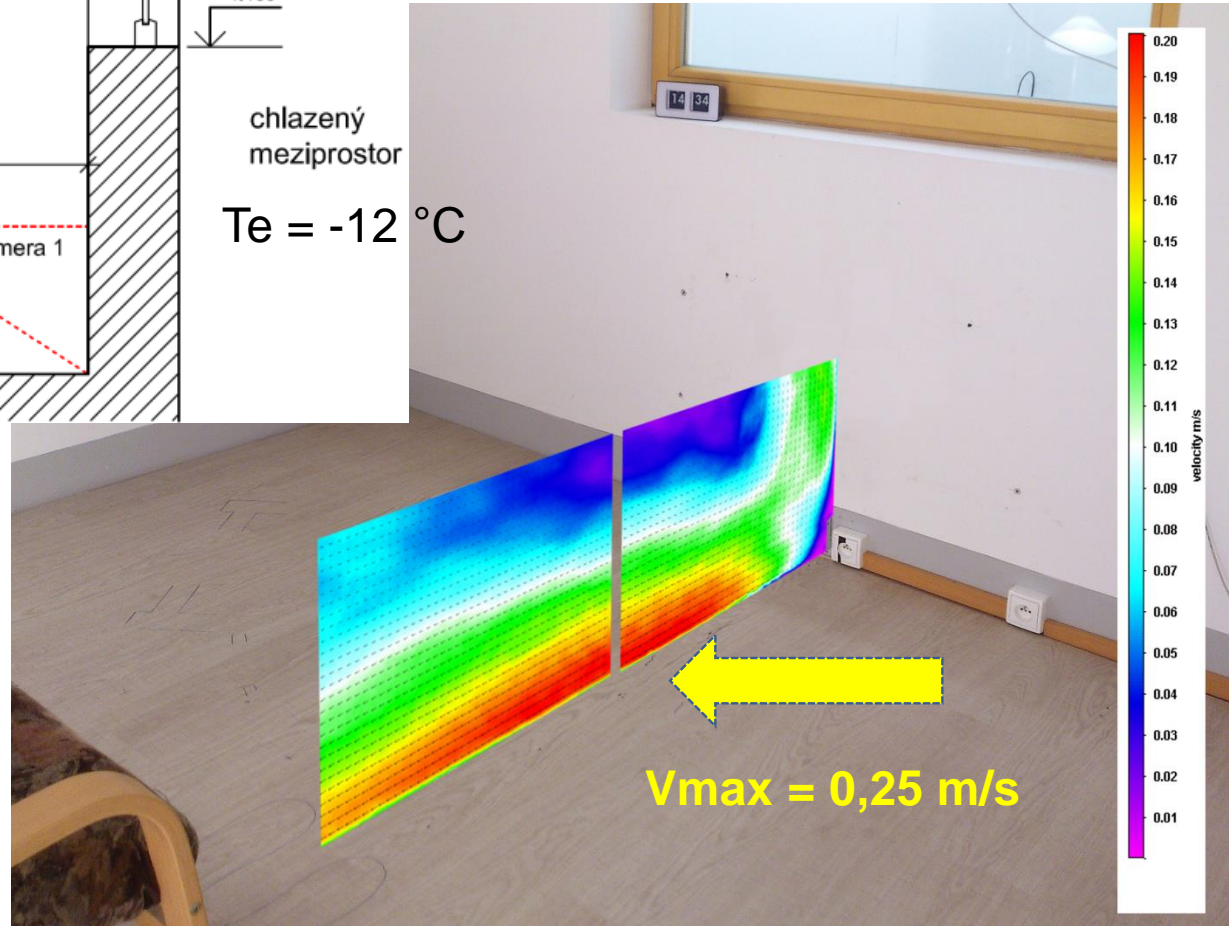
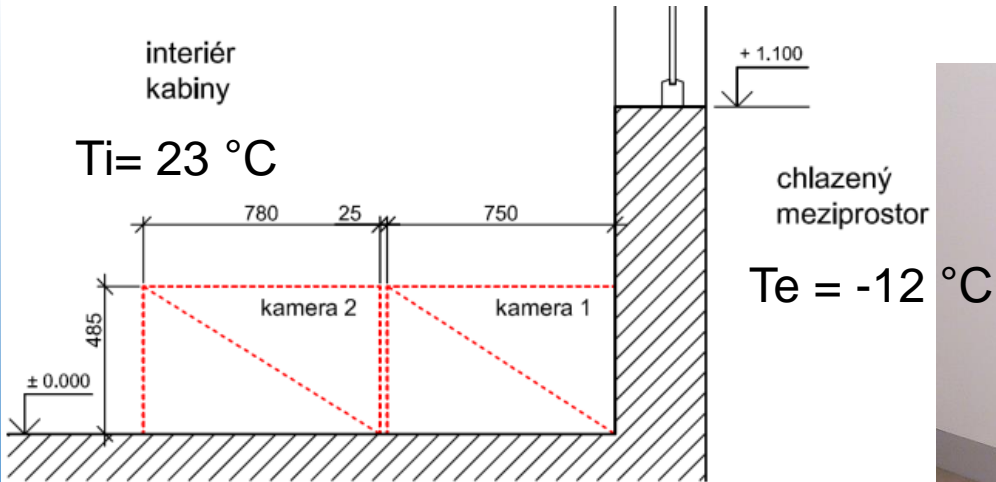
# S otopným tělesem pod oknem



Otázky, které se objevují...

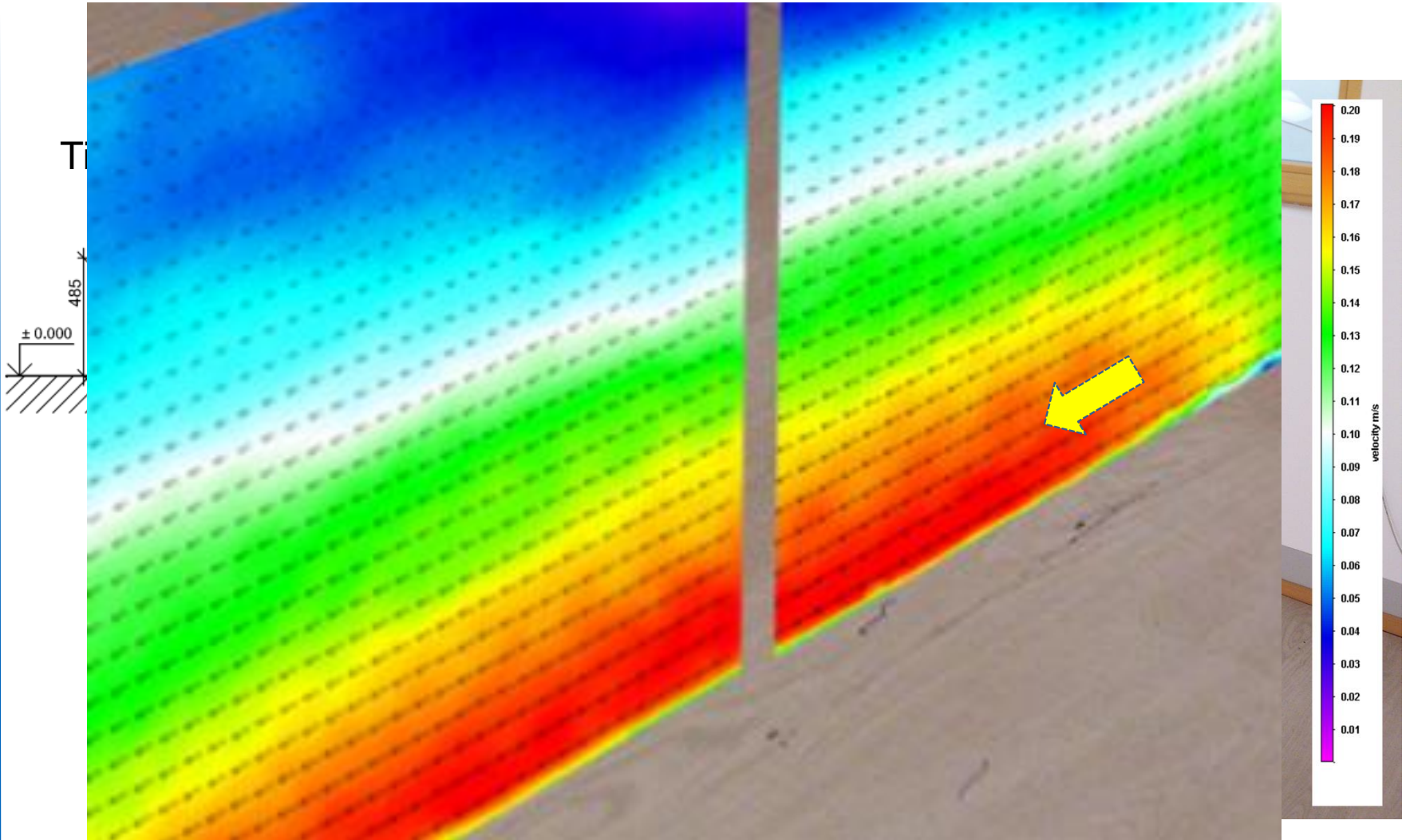
# VÍŘÍ PODLAHOVÉ VYTÁPĚNÍ PRACH?

# Podlahové vytápění – při plném výkonu





# Podlahové vytápění – při plném výkonu



Otázky, které se objevují...

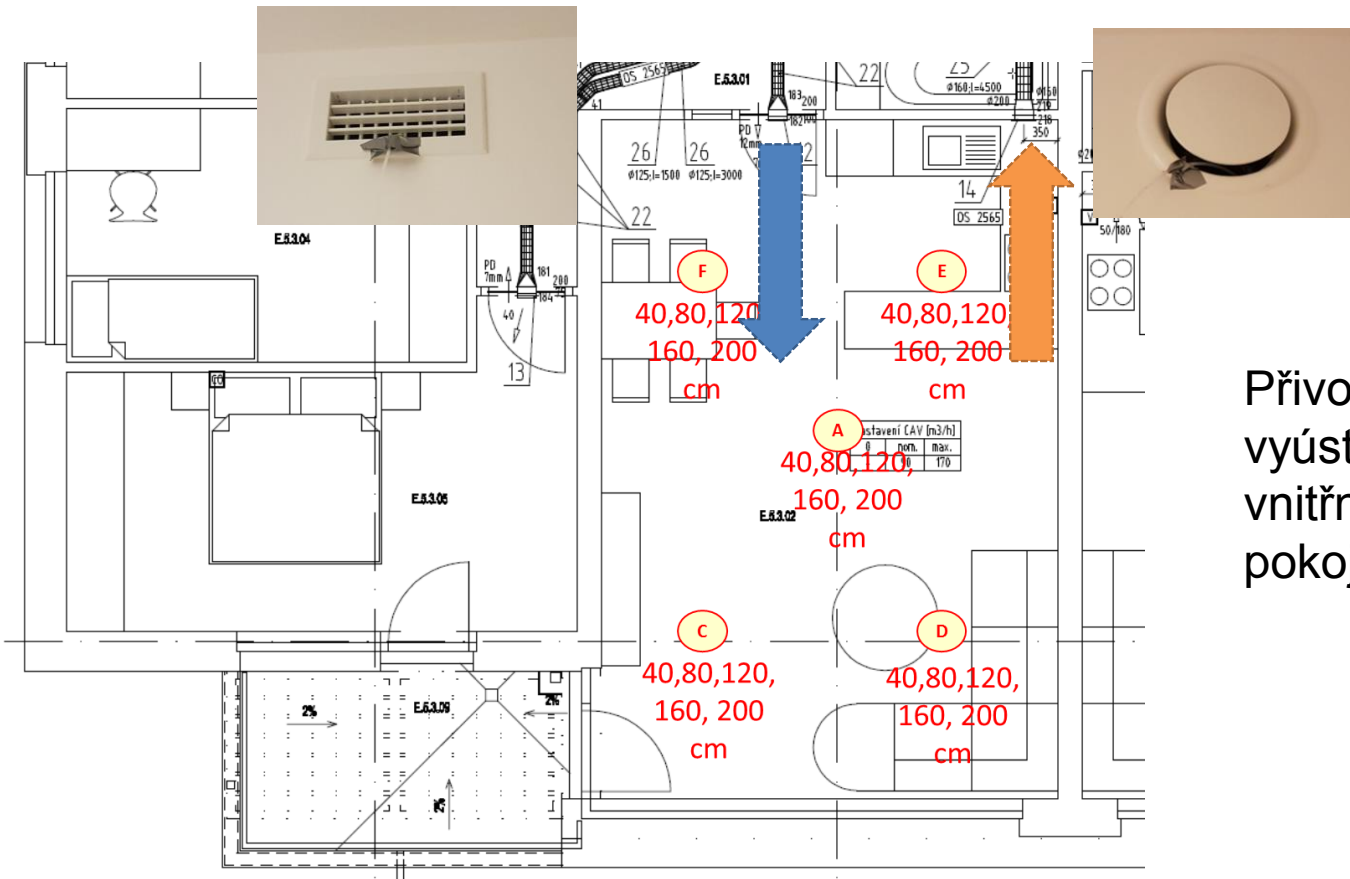
# **JAK JE TO S VÝMĚNOU VZDUCHU V BYTĚ S ŘÍZENÝM VĚTRÁNÍM?**

# Byt s řízeným větráním

- Bytový dům 6 podlaží 36 BJ
- Centrální vzduchotechnika, rekuperace s místním dohřevem
  - Připojení přes regulační box do každého bytu
  - Přívody do obytných místností
  - Odtahy v kuchyni, WC a koupelně
  - Řízení jednotlivých místností podle časového rozvrhu, vlhkosti a CO<sub>2</sub>



# Analýza proudění vzduchu a intenzity větrání v bytovém objektu s nuceným centrálním větráním



Přivodní a odváděcí  
 vyústka na stejné,  
 vnitřní stěně obývacího  
 pokoje

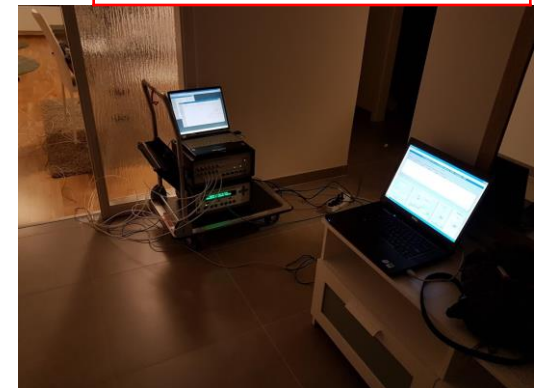
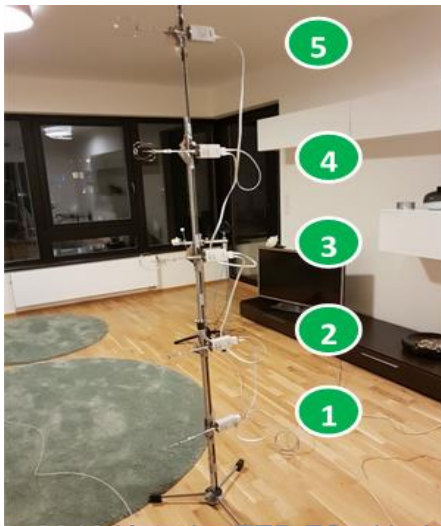
# Intenzita větrání

- **Obývací pokoj**
  - Fotoakustický analyzátor plynu Innova 1412, SF<sub>6</sub>/CO<sub>2</sub> značkovací plyn
  - AirDistSys 5000



Výpočtové hodnoty

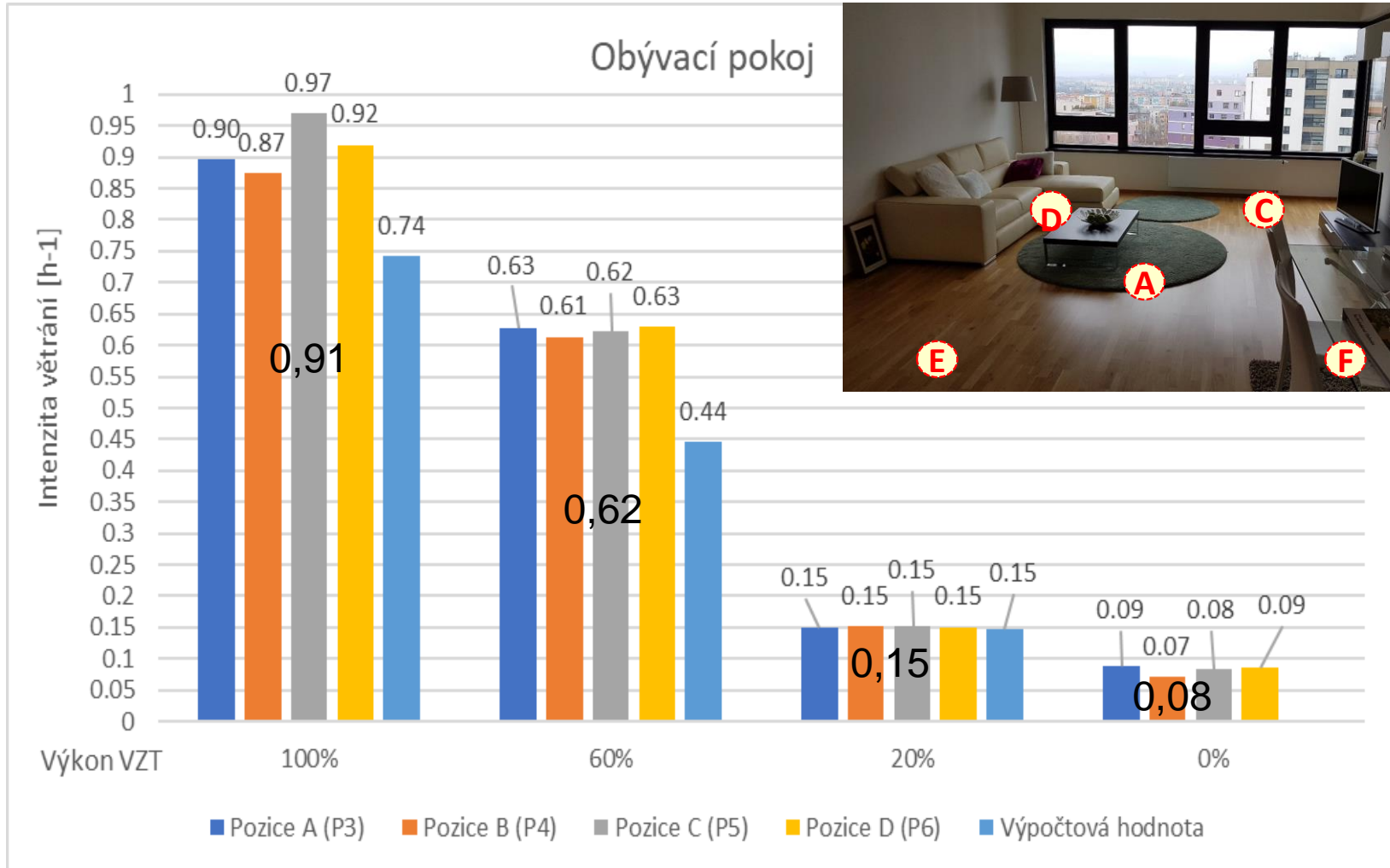
%	n	m3/hod
100%	1.31	70
50%	0.65	35
20%	0.26	14



(C) 2018 Katedra TZB FSv / Laboratoř vnitřního prostředí UCEEB ČVUT v Praze

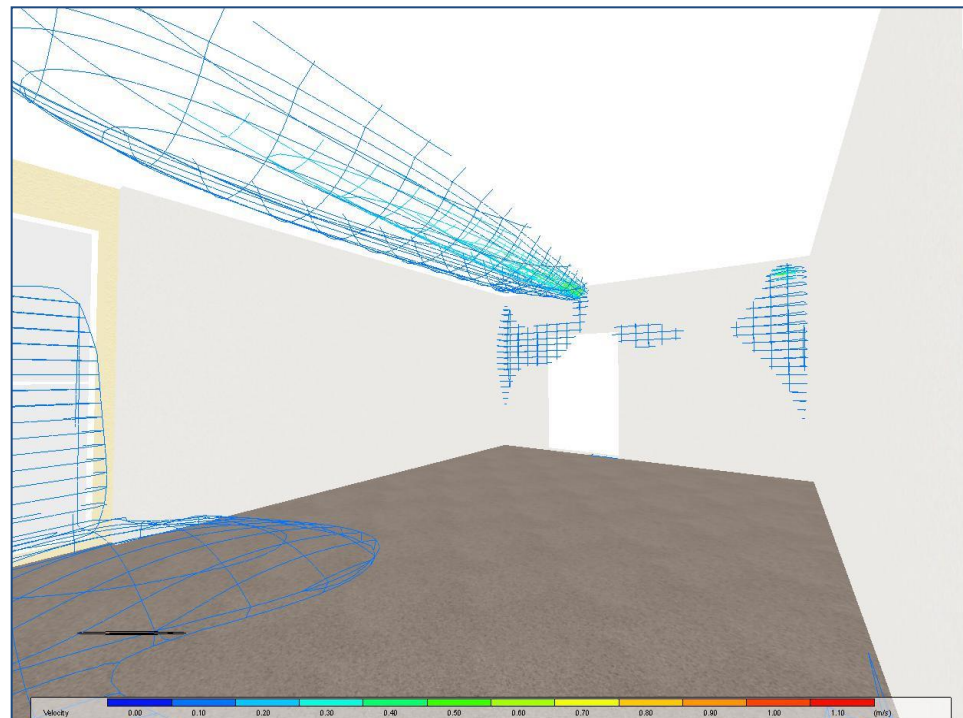
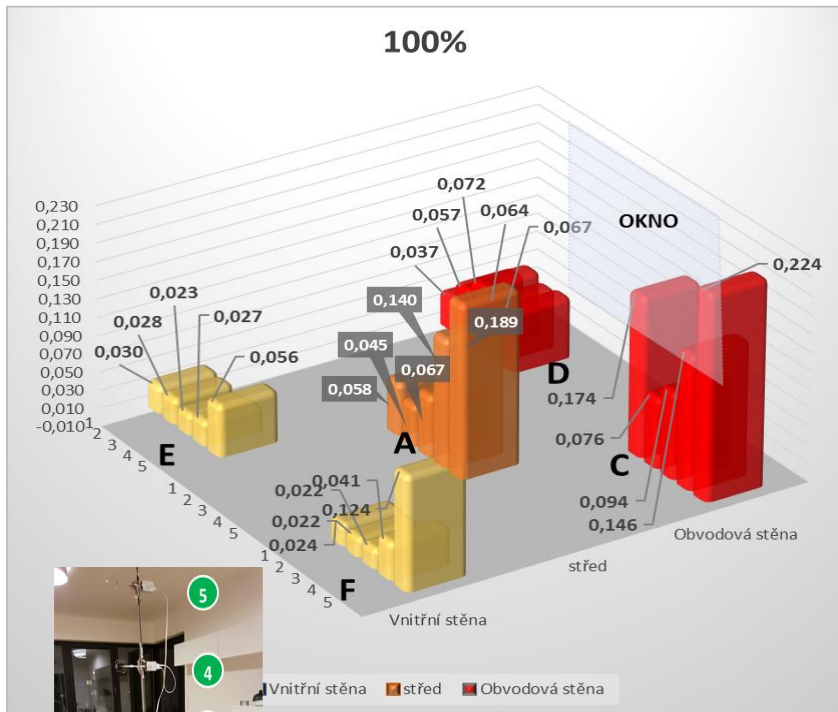
Projekt ČVUT/ATREA/JRD

# Intenzita větrání obývací pokoj





# Měření/CFD – pokoj – 100 %





# Závěry

- **VZT zařízení zajistí potřebnou výměnu vzduchu – koncentrace značkovacího plynu klesá rovnoměrně ve všech měřených bodech prostoru**
- **Rychlost proudění vzduchu mimo přímý dosah proudu přiváděného vzduchu je srovnatelná se stavem při vypnuté VZT**

Otázky, které se objevují...

# **PROBLÉMY S KVALITOU VZDUCHU V BYTĚ S ŘÍZENÝM VĚTRÁNÍM - PRAŠNOST**

# Byt s řízeným větráním

Problém: extrémní prašnost



# Byt s řízeným větráním

Problém: extrémní prašnost

Potvrzeno měřením PM2,5; PM5; PM 10

Podezření uživatelů:

„Prach se určitě šíří ze vzduchotechniky“



# Byt s řízeným větráním

Problém: extrémní prašnost

Potvrzeno měřením....

Podezření uživatelů:

„Prach se určitě šíří ze vzduchotechniky“

**Kontrola kvality přiváděného vzduchu  
a filtrů... vše OK**



# Byt s řízeným větráním

Problém: extrémní prašnost

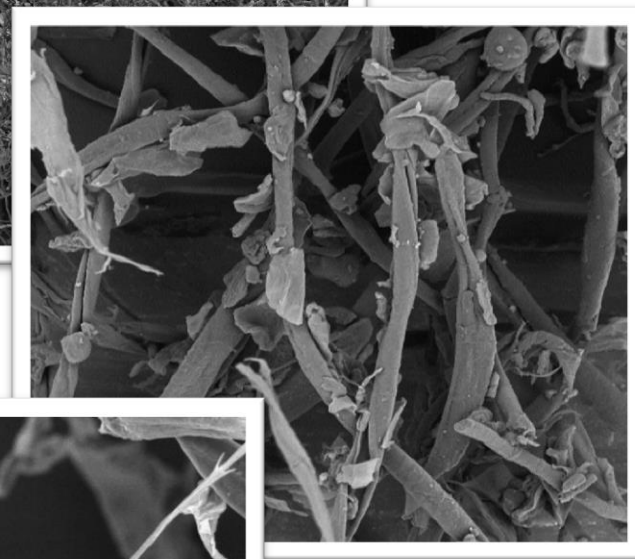
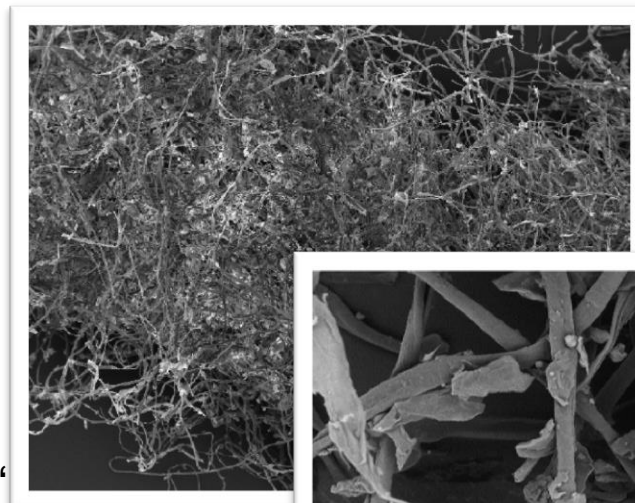
Potvrzeno měřením....

Podezření uživatelů:

„Prach se určitě šíří ze vzduchotechniky“

Kontrola kvality přiváděného vzduchu a filtrů... vše OK

**Rozbor prachu elektronovou  
mikroskopií s rentgenovou analýzou**



# Byt s řízeným větráním

Problém: extrémní prašnost

Potvrzeno měřením....

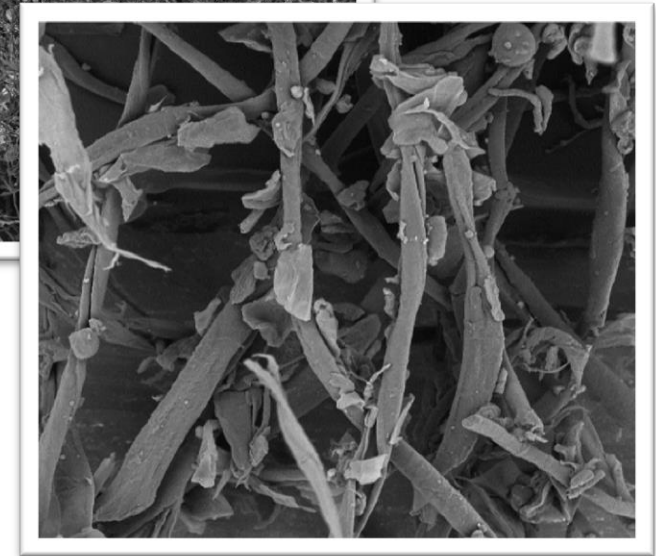
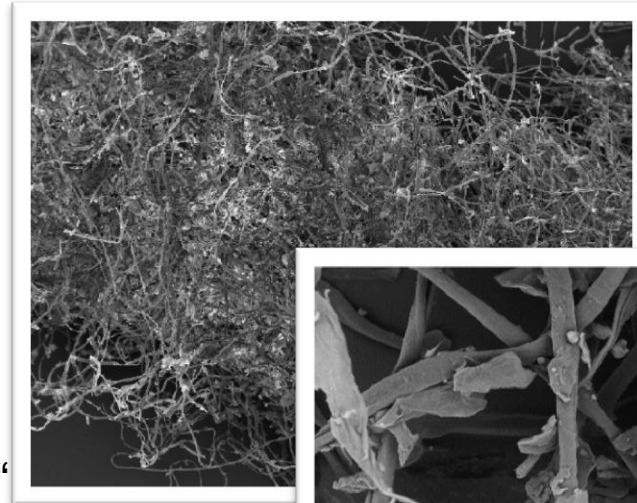
Podezření uživatelů:

„Prach se určitě šíří ze vzduchotechniky“

Kontrola kvality přiváděného vzduchu a filtrů... vše OK

**Rozbor prachu elektronovou mikroskopií s rentgenovou analýzou**

*Dominantní části vzorku prachu jsou vláknité struktury, které podle infračervené analýzy patří **textilnímu vláknu v kombinaci bavlna-elastan (Cotton-Elastane) v poměru cca 92:8 hmot.%. Pochází z oblečení, povlečení atd., méně pravděpodobně z koberců.***



# Byt s řízeným větráním

Problém: extrémní prašnost

Potvrzeno měřením....

Podezření uživatelů:

„Prach se určitě šíří ze vzduchotechniky“

Kontrola kvality přiváděného vzduchu a  
filtrů... vše OK

Rozbor prachu elektronovou mikroskopií  
s rentgenovou analýzou



***A nalezení „viníka“.... Nevycištěný filtr sušičky***



ČVUT v Praze  
Fakulta stavební  
Katedra technických zařízení budov

*Budovy nestavíme proto, aby šetřily energií, ale proto, abychom v nich mohli žít ve zdravém a kvalitním prostředí.*

Děkuji za pozornost

Karel Kabele  
kabele@fsv.cvut.cz