

prof. Ing. Jiří BAŠTA, Ph.D.
 ČVUT v Praze, Fakulta strojní,
 Ústav techniky prostředí

Zajištění místní regulace

Ensuring Local-Area Control

Recenzent
 Ing. Petr Šerks

Příspěvek se zabývá různými možnostmi zajištění místní regulace. Zaměřuje se na návrh termostatického regulačního ventilu ve vazbě na pásmo proporcionality a autoritu ventilu a s nimi související použití tzv. přednastavení na regulačních ventilech u otopných těles.

Klíčová slova: vytápění, místní regulace, regulační ventil, regulátor, termostatická hlavice

The article discusses with various options for ensuring local-area control. It focuses on the design of a thermostatic control valve in relation to the zone of proportionality and valve authority and the associated use of pre-setting on the control valves of radiators.

Keywords: heating, local-area control, control valve, controller, thermostatic head

ÚVOD

Co nejehospodárnější provoz zařízení předpokládá dvě základní podmínky: individuální regulaci tepelného výkonu otopného tělesa v každé vytápěné místnosti a hydraulické vyvážení (vyregulování) otopné soustavy. Individuální, lépe místní regulace přímo souvisí s použitím regulačního ventilu (RV) u otopných těles, nejčastěji osazených termostatickou hlavici (T), tj. souvisí s použitím termostatických regulačních ventilů (TRV).

PROSTŘEDKY K ZAJIŠTĚNÍ MÍSTNÍ REGULACE

Přesto, že se změna průtoku neprojevuje na změně tepelného výkonu otopných těles tak razantně a efektivně jako změna teploty přívodní vody, využívá se u místní regulace jednoznačně regulace kvantitativní, tj. změnou průtoku.

Místní regulaci lze zajistit různými způsoby. Dnes se nejvíce využívá TRV. Definici termostatických hlavice, která říká, že to jsou přímé (dříve přímočinné, tj. bez přívodu pomocné energie) proporcionální regulátory (rychlost pohybu kuželky závisí přímo úměrně na rozdílu teplot, tj. teploty zadané/žádané a teploty vzduchu v okolí hlavice) s malým pásmem proporcionality x_p .

Regulační ventil (RV) však můžeme osadit tzv. elektronickou hlavici, která již představuje spojitý regulátor s pomocnou energií (baterie) většinou PI regulačního chování. Stejně tak, ho můžeme osadit „servopohonem“ či „termopohonem“, jakožto akčním členem, který komunikuje se spojitým regulátorem, a to buď P regulátorem (tj. prostorovým termostatem), nebo

PI prostorovým regulátorem. Spojité regulátory, kromě možné reakce na okamžitou změnu regulační odchylky, generují spojitě akční zásahy, tj. klouzavé změny. Regulovanou veličinu lze nastavit na libovolnou hodnotu v rámci regulačního rozsahu [1].

Na regulační ventil můžeme přímo osadit termostatickou hlavici či elektronickou hlavici.

Termostatické hlavice můžeme rozdělit podle náplně na hlavice s kapalinovou a paroplynovou náplní (pevná náplň, tj. většinou parafinová, se dnes již v Evropě nepoužívá). Hlavice s paroplynovou náplní reaguje oproti kapalinové rychleji na změnu teplot a při letním oslunění zaručuje „nezakousnutí“ kuželky do sedla RV (má jinou teplotní charakteristiku a vyvíjí tak v rozsahu teplot 36 až 40 °C mnohem menší síly na kuželku). Termostatická hlavice s kapalinovou náplní reaguje na změny teploty s určitým zpožděním a výkyvy [2].

Elektronické hlavice se montují na RV stejným způsobem jako termostatické hlavice. Vyrábějí se s elektrickým či termoelektrickým pohonem. U hlavice s elektrickým pohonem lze rozpoznat jemný zvuk, který může při otevírání či zavírání RV citlivé jedince rušit při usínání. Nevýhodou hlavice s termoelektrickým pohonem je pak nutnost externího napájení. U elektronických hlavice se jednoznačně jedná o spojitě elektrické P či PI regulátory s mnohými dalšími funkcemi (dovolená, denní útlum od ... do, víkend atd.).

Takřikajíc o něco vyšší kategorii tvoří prostorové regulátory komunikující s pohonem na RV. **Proporcionální regulátor**, tj. P regulátor, je základním a nejpoužívanějším typem ze skupiny spojitých regulátorů. Realizuje nejjednodušší regulační funkci, kterou lze vyjádřit následujícím slovním popisem: proporcionální regulátor (regulační algoritmus) generuje změny akční veličiny (přírůstky Δy) přímo úměrně velikosti regulační odchylky e , tzn. že přírůstky akční veličiny Δy jsou proporci regulační odchylky e . Jeho statickou charakteristiku tvoří lineární funkce, jejíž sklon představuje jediný stavitelný parametr P regulátoru nazývaný zesílení K_p . To je pro náš návrh RV podstatná věc, neboť převrácená hodnota zesílení je pásmem proporcionality x_p .

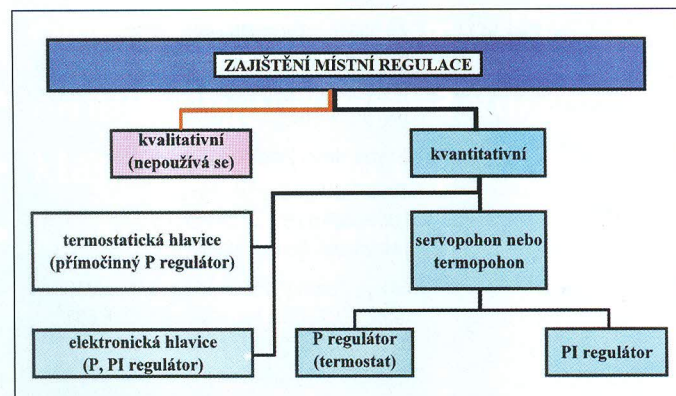
Hodnotu zesílení K_p definuje vztah:

$$K_p = \frac{1}{x_p} = \frac{\Delta y}{\Delta e} = \frac{\Delta y}{e - 0} = \frac{\Delta y}{e}$$

kde je:

Δy změna akční veličiny na výstupu regulátoru,

Δe změna regulační odchylky [1].



Obr. 1 Rozdělení místní regulace

Fig. 1 Categorization of local-area control

Přesnost a stabilita regulace s P regulátorem velmi závisí na jeho zesílení. Při použití P regulátoru se vždy vyskytuje trvalá regulační odchylka.

Proporcionálně integrační regulátor, tj. PI regulátor, nám může poskytnout něco navíc. Z průběhů přechodových charakteristik P a I regulátoru lze odvodit, že P regulátor, díky schopnosti okamžitě reagovat na vzniklou regulační odchylku, zlepšuje dynamiku regulační odezvy v její počáteční fázi, zatímco dopad zásahů od integračního regulátoru se týká hlavně schopnosti odstranit trvalou regulační odchylku, typickou pro P regulátor. Lze právem očekávat, že se díky spojení obou funkcí zvýší účinnost regulačních zásahů, a tím selepší i kvalita regulace.

PŘEDNASTAVENÍ NA REGULAČNÍCH VENTILECH

Při použití místní regulace nám jde primárně o zajištění tepelného komfortu a úsporu energie. Abychom vůbec k nějakým úsporám energie dospěli, musíme RV navrhnout správně. Správný návrh pro požadované regulační chování předpokládá dodržení rozumného pásma proporcionality a odpovídající autoritu ventilu (o té později).

Pásmo proporcionality je rozsah regulované veličiny x , tj. teploty v místnosti, při kterém dojde k maximální změně akční veličiny y (zdvih ventilu). U TRV je pásmo proporcionality x_p změna teploty vzduchu v místnosti, při které dojde ze stavu úplného otevření ventilu k jeho úplnému zavření. Většina výrobců TRV doporučuje pásmo proporcionality o hodnotě 2 K. Nižší hodnota působí stagnaci práce ventilu či jeho pulsování (jeho neustálé uzavírání a otvírání), a tím jeho mechanické opotřebení a špatnou regulační schopnost. Vyšší hodnota způsobuje méně hospodárny provoz, jelikož při zvyšování teploty v místnosti rostou i tepelné ztráty.

Vzmemme-li za směrodatné pásmo proporcionality 2 K, znamená to např. plné otevření TRV při teplotě 22 °C, za jmenovitého průtoku ventilem, a zrovna tak plné uzavření TRV při teplotě 24 °C, tj. při nulovém průtoku ventilem.

Vzhledem k pásmu proporcionality si musíme dát pozor na možnost tzv. hydraulického přednastavení ventilu. K návrhu TRV je potřebný diagram jeho hydraulických vlastností (resp. tabulka s k_v hodnotami), který znázorňuje závislost hmotnostního průtoku m a tlakové ztráty ventilu Δp s vymezeným pásmem proporcionality (tj. teplotním rozsahem, ve kterém ventil pracuje). Takové diagramy poskytuje vždy výrobce armatury.

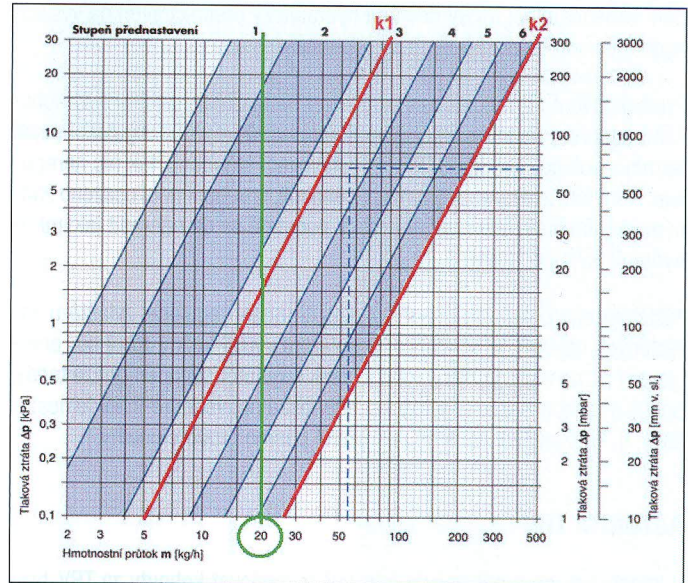
Hodnota jmenovitého průtoku, tedy k_{vs} hodnota je definována takto:

$$k_{vs} = \dot{V} \sqrt{\frac{\Delta p_N}{\Delta p}} = \frac{\dot{Q}}{\sqrt{\Delta p}} \quad [\text{m}^3/\text{h}]$$

kde je:

- k_{vs} jmenovitý průtok, tj. k_v hodnota při maximálním otevření ventilu a jmenovité tlakové ztrátě ventilu 100 kPa [m^3/h],
- $\dot{V} = \dot{Q}$ objemový průtok [m^3/h] (\dot{Q} pro německé značení),
- Δp tlaková ztráta ventilu [kPa, pro německé značení v bar],
- Δp_N jmenovitá tlaková ztráta ventilu = 100 kPa = 1 bar.

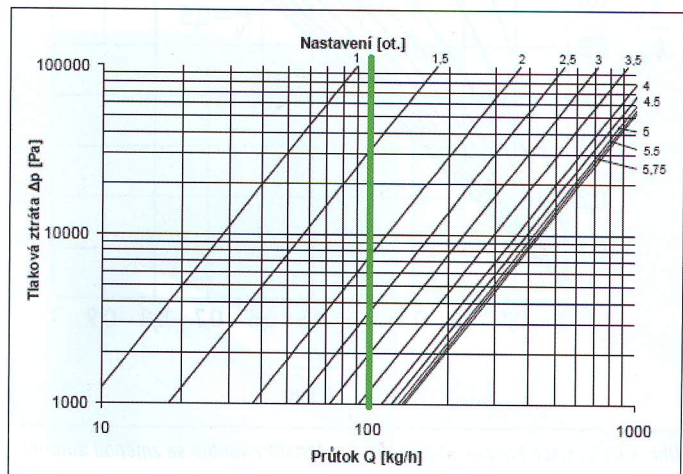
Jmenovitý průtok regulační armaturou je objemový průtok kapaliny, který proteče armaturou při 100% regulačním zdvihu, tj. při plném otevření clony předregulace, za normovaných hodnot ($\Delta p_N = 100 \text{ kPa} = 1 \text{ bar}$ a teplota kapaliny 10 až 15 °C). Jmenovitý zdvih je zdvih TRV dosažený ze zcela otevřené polohy zvýšením teploty snímače o jmenovitý uzavírací teplotní rozdíl, zde 2 K. Je zřejmé, že přednastavení zmenšuje zdvih kuželky (ať už je realizováno jakoukoli clonou) a tím značně omezuje rozsah akční veličiny. V obr. 2 je označena k_v hodnota pro pásmo proporcionality $x_p = 2 \text{ K}$ jako k_2 a pro $x_p = 1 \text{ K}$ jako k_1 .



Obr. 2 Vliv přednastavení TRV na změnu pásma proporcionality
Fig. 2 Effect of TCV pre-setting on change of the zone of proportionality

Můžeme pozorovat, že čím nižší stupeň přednastavení volíme, tím menší bude pásmo proporcionality. Na průtoku 20 kg/h (zelená čára) vidíme, že čím více budeme potřebovat doškrtnit, tím menší přednastavení budeme muset projektovat, a s tím menším pásmem proporcionality bude TRV pracovat, resp. při dvou nejmenších číslech přednastavení začne ztrácet svoji regulační schopnost.

Z výše uvedeného vyplývá, že není rozumné projektovat malá čísla hydraulického přednastavení TRV, a to i přes ujišťování výrobce, neboť významně zmenšujeme pásmo proporcionality a TRV pak místo aby reguloval, ztratí svou regulační schopnost a zůstane „sedět“ většinou v otevřené poloze (osazení přímočinnou hlavici). U ventilů osazených pohonem, na který je napojen P či PI prostorový regulátor, pak dojde k nestabilitě a ventil přejíždí z polohy uzavřeno do polohy otevřeno, tj. regulační obvod vykazuje nestabilní chování. Pokud nám v projektu vychází malá čísla přednastavení, použijme k TRV ještě regulační šroubení a TRV nechme hydraulicky přednastaven na vyšších hodnotách. Nebo raději nepoužívejme přednastavení na TRV, neboť to je zbytkový zvyk z dob, kdy docházelo k prosté výměně kohoutů za TRV a neměli jsme možnost využít regulačního šroubení. Pokud to jde, využijeme pro seškrvení přebytečného tlaku pouze regulační šroubení (zvýšení nákladů na otopnou soustavu oproti použití prostého šroubení je vzhledem k ostatním nákl-



Obr. 3 Návrhový diagram regulačního šroubení
Fig. 3 Design characteristics of a control valve

dům zanedbatelné) a TRV nechme hydraulicky přednastaven na vyšších hodnotách nebo (lépe) bez přednastavení.

Přednastavení na regulačním šroubení skýtá pouhou změnu hydraulického odporu. Přesto, že se šroubení nesprávně jmenuje regulační (lepší termín z pohledu regulace by byl nastavovací šroubení), tak nic nereguluje. Není tam zpětnovazební řízení čehokoli, šroubení není osazeno žádným akčním členem s regulátorem. V podstatě se dá nahradit jakýmkoli hydraulickým odporem.

Těžištěm energetických úspor při použití místní regulace, zvláště u zateplených objektů, je schopnost regulátoru využít každý zdroj cizí energie, tj. i různé tepelné zisky. Toho je však regulátor schopen pouze tehdy, pokud mu neomezíme regulační schopnost a nevedeme-li ho do nestability, tj. když mu zachováme nesnížené pásmo proporcionality.

AUTORITA TRV

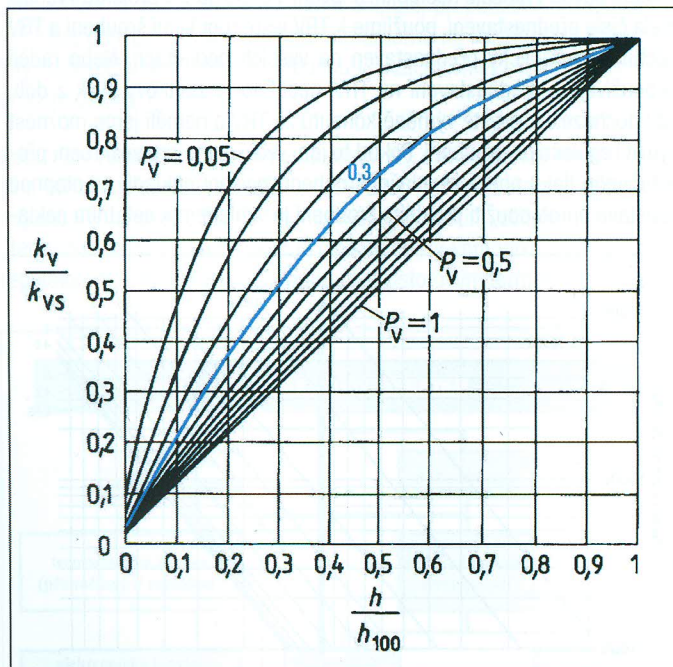
V letech, kdy se u nás začaly masivně vyměňovat kohouty za TRV, bylo napsáno o TRV mnohé. Jedním z argumentů některých autorů pro výrazné škrčení na TRV, a to i v rámci hlavní větve, bylo dosažení vysoké autority regulačního ventilu. Je zřejmé, že regulační schopnost ventilu umístěného v potrubní síti ovlivňuje i jeho autorita. Obecně lze konstatovat, že čím je větší autorita ventilu, tím lepší regulační schopnosti ventilu v potrubní síti lze dosáhnout. Toto konstatování však neříká vše.

Autorita ventilu P_V (dříve označována a) je definována poměrem tlakové ztráty ventilu při plném otevření k tlakové ztrátě ventilu při plném uzavření.

$$P_V = \frac{\Delta p_{V100}}{\Delta p_{V0}} \quad [-]$$

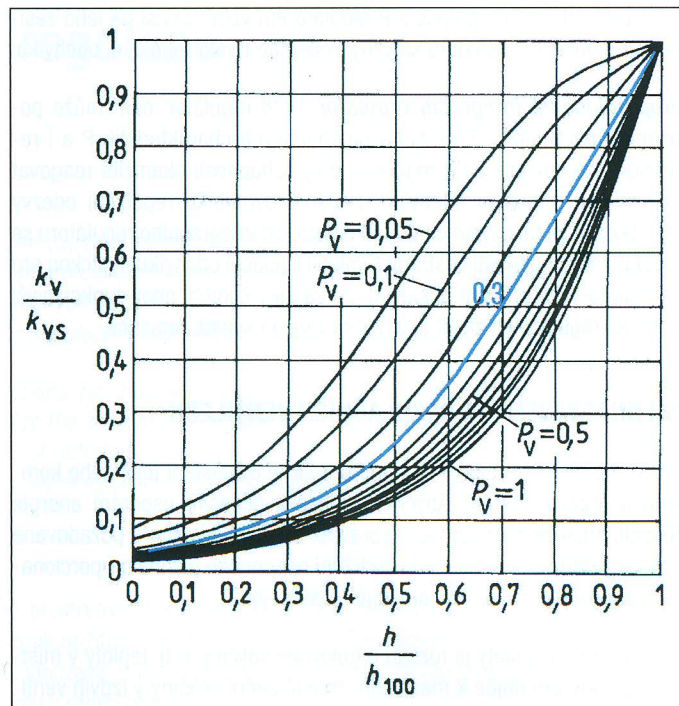
kde je:

- Δp_{V100} tlaková ztráta ventilu při plném otevření [Pa],
- Δp_{V0} tlaková ztráta ventilu při plném uzavření [Pa],
- P_V autorita ventilu [-].



Obr. 4 Deformace lineární statické charakteristiky ventilu se změnou autority ventilu

Fig. 4 Deformation of linear static characteristic of valve with change of valve authority



Obr. 5 Deformace rovnoprocentní statické charakteristiky ventilu se změnou autority ventilu

Fig. 5 Deformation of equal percentage static characteristic of valve with change of valve authority

Podle toho, jakou má ventil tlakovou ztrátu vzhledem k tlakové ztrátě okruhu příslušejícího ventilu, resp. podle toho, jak velká je autorita ventilu, se statická charakteristika ventilu deformuje. Deformaci statické charakteristiky ventilu s lineární a rovnoprocentní charakteristikou v závislosti na autoritě ventilu znázorňují obr. 4 a 5. K určení k_{VS} hodnoty je zapotřebí jmenovitý průtok a tlaková ztráta ventilu. Z definičního vztahu je zřejmé, že tlakovou ztrátu ventilu při plném otevření lze určit přes autoritu ventilu.

Nevýhodou tohoto vztahu je, že tlaková ztráta ventilu je sama závislá na tlakové ztrátě ventilu při plném otevření. Základní definiční vztah je pro praxi neúčinný, a proto je potřeba do vztahu promítnout tlakovou ztrátu regulovaného okruhu příslušejícího ventilu. V našem případě to bude tlaková ztráta otopného tělesa. Vztah nabývá tvaru:

$$\Delta p_{V100} = P_V (\Delta p_{V100} + \Delta p_{PS})$$

$$\Delta p_{V100} = \frac{P_V}{1 - P_V} \Delta p_{PS}$$

$$P'_V = \frac{P_V}{1 - P_V}$$

$$\Delta p_{V100} = P'_V \cdot \Delta p_{PS}$$

kde je:

- Δp_{PS} tlaková ztráta okruhu příslušejícího regulačně ventilu [Pa],
- P'_V poměrná autorita ventilu [-].

Při obvyklé autoritě ventilu, zajišťující velmi dobré regulační chování ventilu $P_V = 0,33$, je poměrná autorita $P'_V = 0,5$. Tlaková ztráta plně otevřeného ventilu je tak přibližně poloviční než tlaková ztráta regulačně příslušného okruhu bez ventilu. Tlaková ztráta např. výměníku, otopného tělesa

KONVEKTORY

DESIGNOVÉ A EFEKTIVNÍ
VYTÁPĚNÍ

či úseku potrubní sítě je známa z technického řešení otopné soustavy. V našem případě jde o TRV u otopného tělesa, tj. rozhodujícími veličinami je tlaková ztráta TRV a tlaková ztráta otopného tělesa. Tlaková ztráta byt' zcela otevřeného ventilu bez přednastavení bude větší než tlaková ztráta otopného tělesa, a tak se nemusíme obávat malé autority TRV a není třeba zvyšovat tlakovou ztrátu TRV různým přednastavením.

ZÁVĚR

S využíváním malých čísel hydraulického přednastavení u TRV jde ruku v ruce zmenšování pásma proporcionality. TRV pak namísto toho, aby regulovaly, tak ztrácí svou regulační schopnost. U ventilů osazených pohonem, na který je napojen P či PI prostorový regulátor, pak dochází k nestabilitě regulačního obvodu a opět ztrácíme regulační schopnost. Pokud nám v projektu vychází malá čísla přednastavení, použijme k TRV ještě regulační šroubení a TRV nechejme hydraulicky přednastaven na vyšších hodnotách, nebo ještě lépe bez přednastavení. Jinými slovy, pro seškrcení přebytečného tlaku použijeme primárně regulačním šroubení, neboť regulační šroubení skýtá pouhou změnu hydraulického odporu a s regulací tepelného výkonu otopného tělesa nemá nic společného.

Kontakt na autora: Jiri.Basta@fs.cvut.cz

Použité zdroje:

- [1] BAŠTA, J. *Regulace v technice prostředí staveb*. Praha: ČVUT v Praze, 2014. ISBN 978-80-01-05455-0.
- [2] Přesná kontrola spotřeby energie a zaručené snížení nákladů na vytápění. *Danfoss Česká republika* [online]. Dostupné z: <http://cz.danfoss.com>
- [3] BAŠTA, J. Umístění regulačního ventilu s termostatickou hlavicí pod otopným tělesem. *Vytápění, větrání, instalace*. 2005, roč. 14, č. 2, s. 54–55. ISSN 1210-1389.
- [4] BAŠTA, J. Řízení a regulace ve vztahu k hospodárnosti provozu vytápěcích zařízení. *Stavebnictví*. 2007, 11-12, s. 17–22. ISSN 1802-2030.
- [5] Termostaty. *Honeywell* [online]. Dostupné z: https://products.ecc.emea.honeywell.com/cz/ecatdata/md_auto11.html
- [6] Programovatelné termostaty a regulátory prostorové teploty. *Siemens* [online]. Dostupné z: <http://w5.siemens.com/web/cz/cz/corporate/portal/home>

Centrum pro výzkum toxických látek v ovzduší RECETOX

RECETOX je výzkumným centrem Přírodovědecké fakulty Masarykovy univerzity v Brně. V budoucnu se promění ve špičkové evropské výzkumné centrum obsahující biobanku k uložení dvou milionů vzorků chemických látek, moderní vyšetřovny a roboticky ovládané skladovací prostory. Vznikne výzkumné pracoviště, které v Evropě nemá obdoby. Náklady na vytvoření nového pracoviště v bohumickém univerzitním kampusu se předpokládají ve výši 200 milionů korun.

Centrum bude zkoumat, jak různé faktory ovlivňují prostředí, hlavně směs chemických látek v ovzduší, zdravotní stav obyvatel, jejich imunitu, plodnost, rozvoj alergií nebo Alzheimerovy choroby. Od nové studie si vědci slibují i nové poznatky ke vzniku různých autoimunitních onemocnění.

RECETOX se chystá v rámci následujících několika let realizovat celkem tři projekty. První z nich byl zahájen již v září 2019 a zaměřuje se na zdraví obyvatel velkých měst. Centrum má k dispozici dlouhodobá data o kvalitě ovzduší, způsobu života i zdraví městských populací, nemá však dostatek zkušeností a odborníků k využití všech důležitých informací. V rámci projektu budou proto čeští vědci spolupracovat s odborníky z Londýna a Barcelony. Díky spolupráci se zahraničními kolegy budou tak moci v Brně data začít zpracovávat a vyhodnocovat.

K dalším plánovaným projektům RECETOXu patří výstavba moderního výzkumného centra a vytvoření týmu odborníků pro práci v centru.

Zdroj: www.recetox.cz

(Laj)



- zcela nové řady podlahových konvektorů KORAFLEX
- hloubka konvektoru Thin již od 6 cm
- vyšší tepelný i chladicí výkon těles
- významné úspory energie na vytápění
- pro všechny zdroje tepla včetně tepelných čerpadel
- nové rozměry i krycí mřížky



KORADO®