



Centrum pro otázky  
životního prostředí  
Univerzita Karlova v Praze

# **EKONOMICKÉ HODNOCENÍ DOPADŮ ZNEČIŠTĚNÍ NA ZDRAVÍ**

Vojtěch Máca

Znečištění ovzduší v České republice a související  
civilizační dopady

Praha, 22. 5. 2014

# Obsah prezentace

- hodnocení dopadů znečištění na zdraví – přístup funkce škody
- přístupy k oceňování dopadů na zdraví
- výzkum v oblasti oceňování dopadů na zdraví v COŽP UK

Část I.

# **PŘÍSTUP FUNKCE ŠKODY**

# Zřetězení dráhy dopadu v důsledku expozice znečištění

1. Aktivita (např. poptávka po elektřině / po dopravě)



2. Emise (PM, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> atd., tuny)



3. Rozptyl a atmosférické transformace (mj. vznik aerosolů a ozónu,  $\mu\text{g.m}^3$ )



4. Expozice obecné populace (obyvatelstvo,  $\mu\text{g.m}^3$ )



5. Expozice rizikové populace pro specifický dopad (riziková populace,  $\mu\text{g.m}^3$ )



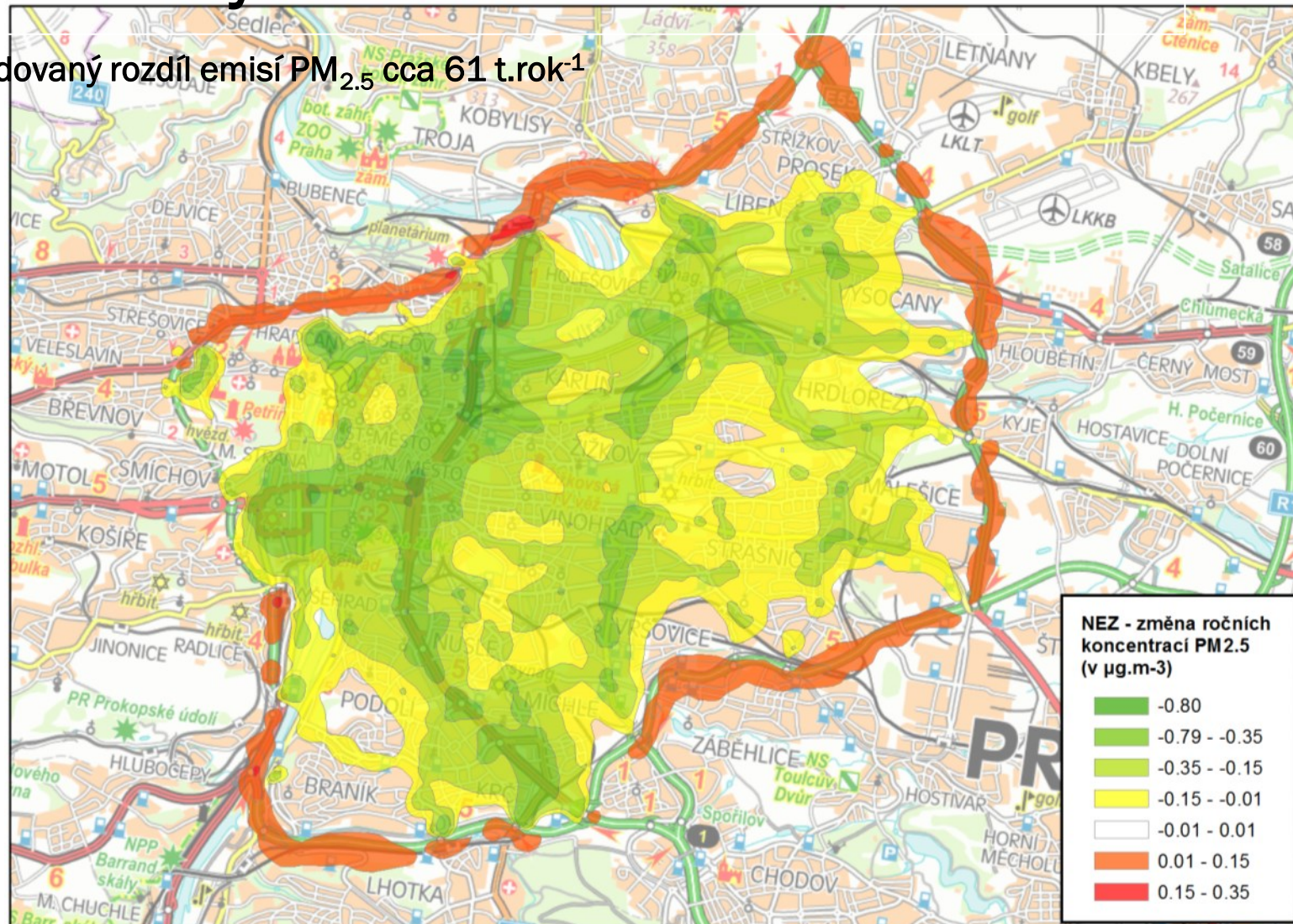
6. Výskyt (incidence) hodnoceného zdravotního efektu spojeného s hodnocenou znečišťující látkou (např. respirační hospitalizace)



7. Peněžní ocenění zdravotních dopadů (Kč)

# Rozdílová mapa imisní zátěže při zavedení nízkoemisní zóny v Praze

- celkový odhadovaný rozdíl emisí  $PM_{2.5}$  cca  $61 \text{ t.rok}^{-1}$



# Kvantifikace (fyzických) dopadů

$$\textit{koncentrace} \times \textit{populace (věk)} \times \textit{populace (riziko)} \times \textit{incidence} \times \textit{CRF}$$

kde:

**koncentrace** představuje průměrnou roční (denní) koncentraci příslušné znečišťující látky

**populace (věk)** je věkově určená frakce populace pro specifický dopad

**populace (riziko)** je riziková frakce populace pro specifický dopad (např. astmatici)

**incidence** je míra incidence (prevalence) daného dopadu v (sub)populaci

**CRF** odhadnutý vztah asociace (*risk rate*) mezi expozicí určité úrovni koncentrace a odezvou v podobě negativního zdravotního účinku

# Funkce expozice-odezva

- zjednodušení komplexních vztahů mezi expozicí a škodlivým (nejen) zdravotní účinkem
  - účinky v podobě (předčasné) úmrtnosti a nemocnosti)
  - dominantní pozornost - prachové částice ( $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$ , UFP),  $NO_x$  a ozón
- zkoumány dopady krátko- a dlouhodobé expozice (časové řady vs. kohortové studie)
- až v poslední době se rozvíjejí 2-polutantové modely, které umožňují rozlišit efekty často souběžně působících škodlivin
- v konsolidaci stavu poznání a odvození CRF významné zapojení WHO – podkladová studie pro CAFE CBA (2003), projekty REVIHAAP a HRAPIE pro TSAP CBA (2013)

# Kvantifikace (fyzických) dopadů (pokračování)

příklady CR funkcí pro expozici PM<sub>2.5</sub> a PM<sub>10</sub>

účinek na zdraví	relativní riziko (95% i.s.) na 10 µg/m <sup>3</sup>	požadovaná míra četnosti účinku	věková skupina	metrika
úmrtnost (všechny příčiny)	1.062 (1.040–1.083)	dle úmrtnostních tabulek ( $\sim e^{8.16-0.0448*LE}$ )	dospělí 30 let a starší	PM2.5, roční průměr
hospitalizace s respiračními onemocněními	1.019 (0.9982–1.0402)	1228 případů na 100 000 osob (MKN J00-J99)	všechny	PM2.5, denní průměr
hospitalizace s kardiovaskulárními onemocněními	1.0091 (1.0017–1.0166)	2850 případů na 100 000 osob (MKN I00-I99)	všechny	PM2.5, denní průměr
incidence chronické bronchitidy	1.117 (1.040–1.189)	3.9 případů na 1000 dospělých	27 let a více	PM10, roční průměr
prevalence bronchitidy u dětí	1.08 (0.98–1.19)	průměrná prevalence 18.6% (PATY)	6-12 let	PM10, roční průměr
dny s omezenou aktivitou (RAD)	1.047 (1.042–1.053)	1 900 000 RAD za 100 000 osob ve věku 18-64 za rok	18-64 let	PM2.5, roční průměr

Zdroj: WHO/HRAPIE project: recommendations for concentration–response functions for cost–benefit analysis



# „Česká sada“ ocenění dopadů na zdraví

zdravotní účinek	Kč za případ (rok)
zvýšené riziko úmrtí - VOLY (chronické)	459 000
zvýšené riziko úmrtí (kojenecká úmrtnost)	23 200 000
chronická bronchitida (nový případ)	770 000
hospitalizace s respiračními chorobami	8 300
den s omezenou aktivitou	1 030
den s mírně omezenou aktivitou	300
akutní respirační příznaky u dětí	710
příznaky onemocnění dolních cest dýchacích	435
záchvat/užití bronchodilatátoru u astmatiků	830
dny s kašlem	300
dny pracovní neschopnosti	3 100

*Zdroj: Máca a kol. (2013) Metodika kvantifikace externích nákladů dopravy*

# Ocenění přínosů zavedení nízkoemisní zóny v Praze

- NEZ stanovena podél městského okruhu, omezení vjezdu se týká:
  - osobní a nákladní automobily se vznětovými motory – vozidla splňující mezní hodnoty EURO 4 nebo vyšší
  - osobní automobily se zážehovými motory – vozidla splňující mezní hodnoty EURO 1 nebo vyšší
- pokles imisní zátěže v centrální části Prahy, nárůst na okrajích NEZ
- ekonomické vyčíslení přínosů ze zamezených emisí PM a NO<sub>2</sub>

		PM <sub>10</sub>	PM <sub>2.5</sub>	NO <sub>2</sub> *
dotčená populace	osoby	417 049	444 776	475 836
ekon. ocenění dopadů	Kč	-2.9 mil.	-38 mil.	-101 mil.
podíl na celkových dopadech	%	0.34	0.34	1.88
<i>z toho</i>				
- populace v centrální části	osoby	401 171	423 081	402 793
- ekon. ocenění dopadů	Kč	-3 mil.	-39 mil.	-136.7 mil.
- populace na okraji NEZ	osoby	15 878	21 695	73 043
- ekon. ocenění dopadů	Kč	80 tis.	1 mil.	35.7 mil.

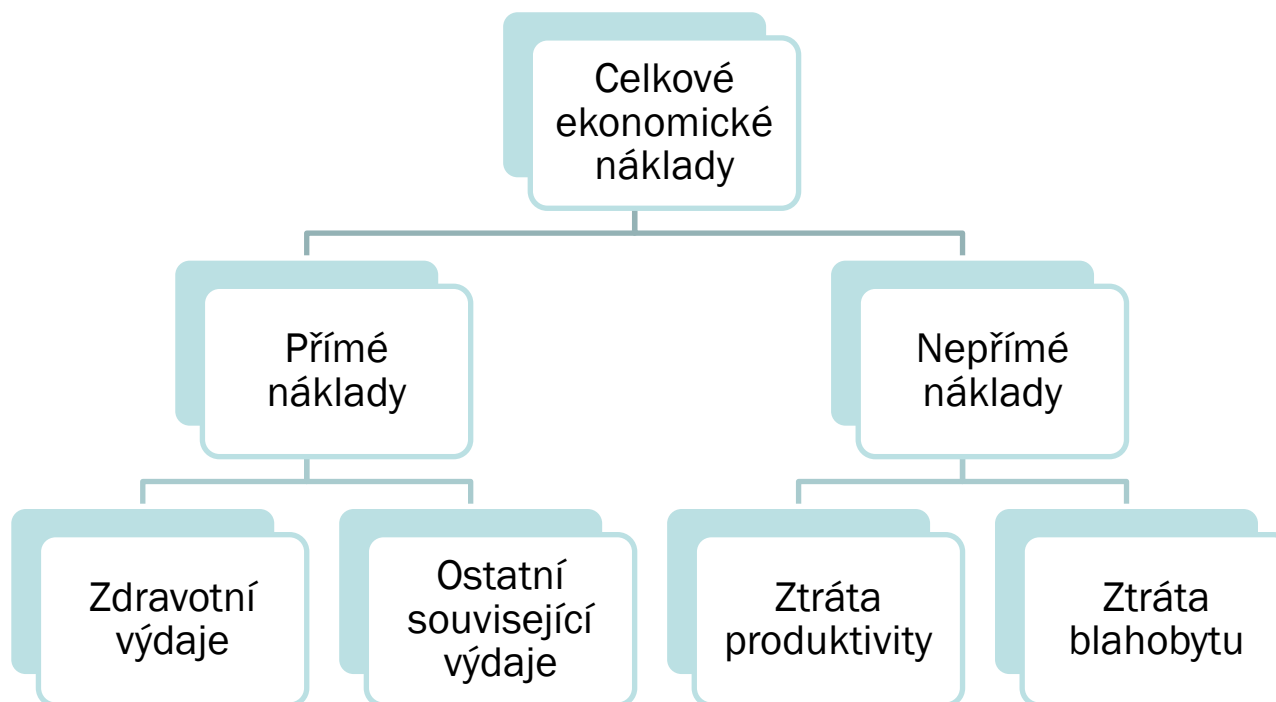
\*předběžné odhady, potenciální překryv dopadů v podobě předčasné úmrtnosti s PM<sub>2.5</sub>

Část II.

# **OCEŇOVÁNÍ DOPADŮ NA ZDRAVÍ: PŘÍSTUPY**

# Oceňování dopadů na zdraví

- vše od nákladů vynaložených na prevenci, léčení po dobu nemoci, ztráty produktivity u ekonomicky aktivních až po averzi k riziku úmrtí, bolesti a nepohodlí během nemoci



# Přístupy k oceňování

- přístup lidského kapitálu („human capital“) – pohlíží na člověka jako zdroj budoucích příjmů (národního důchodu)
  - nemocnost / pracovní neschopnost a předčasná úmrtnost se projevují na národním důchodu → snižuje se blahobyt společnosti
  - fakticky „účetní“ pohled – nedovoluje zahrnout tržně neoceněné statky (zvl. bolest a ztrátu pohody/kvality života)
  - vychází z něj přístup cost-of-illness
  - používá mj. ČSÚ pro satelitní zdravotnické účty
- přístup subjektivní teorie hodnoty – vychází z ekonomie blahobytu (užitková funkce)
  - kompromis při rozhodování mezi výdaji na zdraví a ostatní spotřebou při rozpočtovém omezení (ex-ante vnímání rizika)
  - měřítko - ochota platit/ ochota přijmout kompenzaci (*WTP/WTA*)
  - odvození ochoty platit / přijmout kompenzaci:
    - hédonický mzdový diferenciál (např. riziko prac. úrazu)
    - metody podmíněného hodnocení a výběrového experimentu

# Ztráta blahobytu a riziko úmrtí

- z pohledu teorie užitku je to mezní hodnota snížení rizika úmrtí, kterou je jedinec ochoten směnit za důchod (spotřebu)

## 2 konceptuální přístupy:

- ochota platit za snížení rizika úmrtí (perspektiva „zachráněného života“)  
~ mezní hodnota bezpečnosti (VPF/VSL)
  - snížení rizika úmrtí o 1 :1000 v populaci 1000 osob je shodné jako „záchrana“ jednoho života v téže populaci
  - vyhnutí se předčasnému úmrtí (VSL) se týká typicky nehod a pracovních úrazů
- ochota platit za změnu délky dožití (perspektiva „prodloužení života“)
  - v kontextu dopadů znečištění ovzduší ztráta očekávané délky dožití
  - změna délky dožití je mnohem kratší (v řádu měsíců)
  - kohortové studie nerozlišují zda malé snížení délky dožití postihuje velkou část populace nebo naopak (atributivní frakce není pozorována přímo)

# Oceňování nemocnosti

- ochota platit za vyhnutí se nemoci (snížení rizika)  $\geq$  náklady prevence (aktivita, výdaj) a/nebo výdaje na léčení
- WTP(změna\_rizika) = ztráta užitku vlivem nemoci + náklady příležitosti času nemoci (oceněné příjmem)
- komponenty ochoty platit
  - výdaje na léčení („cost-of-illness“)
  - ztráta příjmu
  - nepohodlí (dis-welfare)

# Přímé a nepřímé náklady

## Náklady na léčení

### Přímé zdravotní náklady

- náklady spojené se zdravotní péčí při prevenci, zjištění diagnózy, léčení onemocnění, rehabilitaci, následné péči, léky, zdravotní pomůcky apod.

### Ostatní (související) přímé náklady

- převážně soukromé výdaje spojené např. se zvláštní dietou, domácí péčí, dopravou apod.

## Ztráta produktivity

### Náklady absencí

- mzdové náklady na zastoupení práce neschopných zaměstnanců
- ztráta produktivního času
- nižší míra spokojenosti zákazníků a spotřebitelů
- nižší kvalita zboží / služeb → oslabení pozice na trhu

### alternativně metoda frikčních nákladů

- komplexnější model (vyžaduje modelování ztráty produktivity), omezeně konzistentní s ekonomickou teorií



# Rakovina plic - náklady léčení

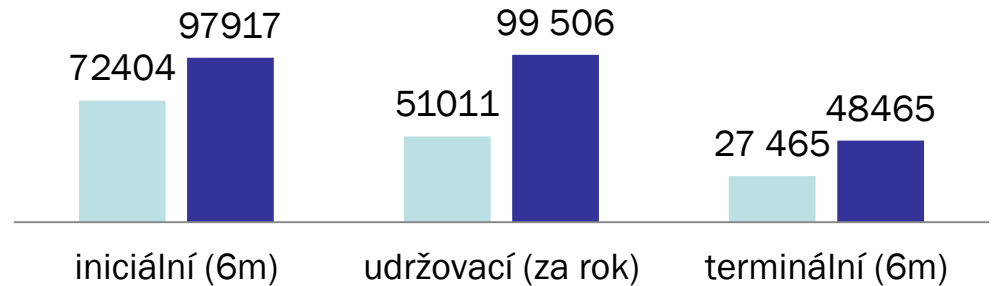
přístup incidence:

$$IC + \sum_{i=1}^n \left[ P_i \cdot \left( \frac{MC}{2} + TC \right) + \pi_i \cdot MC \right]$$

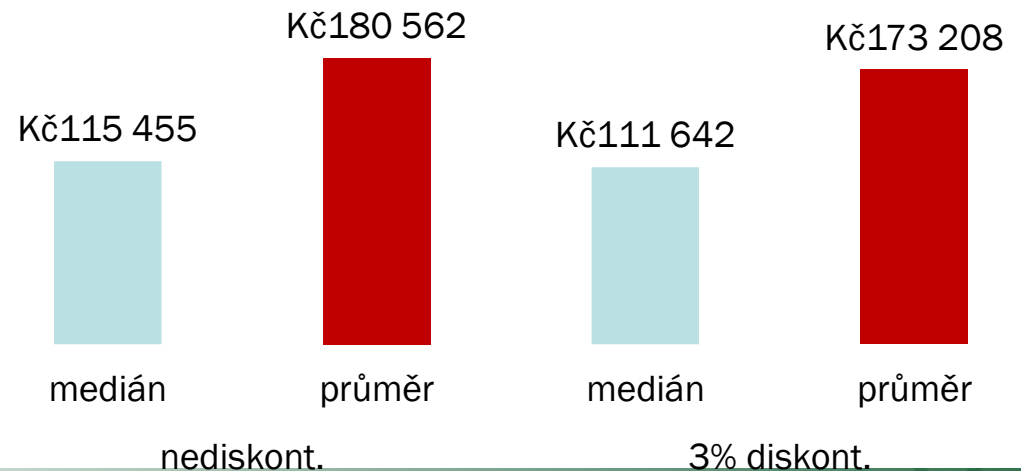
COI Handbook (EPA 2002)  
 data: VZP (rok 2007) – náklady na  
 léčení pacientů s diagnózou  
 novotvaru plic za období 3 let  
 pravděpodobnost přežití podle  
 EUROCORE III

náklady na léčení

■ medián ■ průměr



celkové průměrné náklady



# Rakovina plic - nepřímé náklady

- **ztráta produktivity**
  - pouze cca 25% diagnostikovaných případů u ekonomicky aktivních osob
  - prům. trvání prac. neschopnosti – cca 180 dní →  
přibližná ztráta produktivity 380 tis. Kč
- **ztráta blahobytu**
  - ochota platit za snížení rizika úmrtí na rakovinu odvozena v projektu FP6 EXIOPOL: VSL ~31 mil. Kč

Část III.

# **EMPIRICKÝ VÝZKUM V COŽP UK**

# Valuační studie - morbidita

## akutní respirační onemocnění u dospělých (projekt VaV MŽP, 2005)

- 5 zdravotních stavů (s různým stupněm závažnosti vč. hospitalizace)
- CVM (N = 801, v 5 regionech ČR)

## akutní respirační onemocnění u dětí (projekt VaV MŽP, 2005)

- bronchitida (lehká a těžká), laryngitida, astmatický záchvat
- CVM (N = 460, květen 2005, Teplice a Prachovice)
- COI + ztráta produktivity

## chronická respirační onemocnění (FP6 HEIMTSA, 2010)

- 3 stupně CHOPN, astmatický záchvat
- CVM a *chained standard gamble* (6 evr. zemí, N = 12000, září 2010)

## dopady expozice chemickým látkám (studie pro ECHA, 2013-4)

- senzitivace, dávková toxicita, fertilita, rozvoj dítěte, rakovina
- CVM +SCE (CZ+IT+NL+UK, N=4x667, listopad 2013-duben 2014)

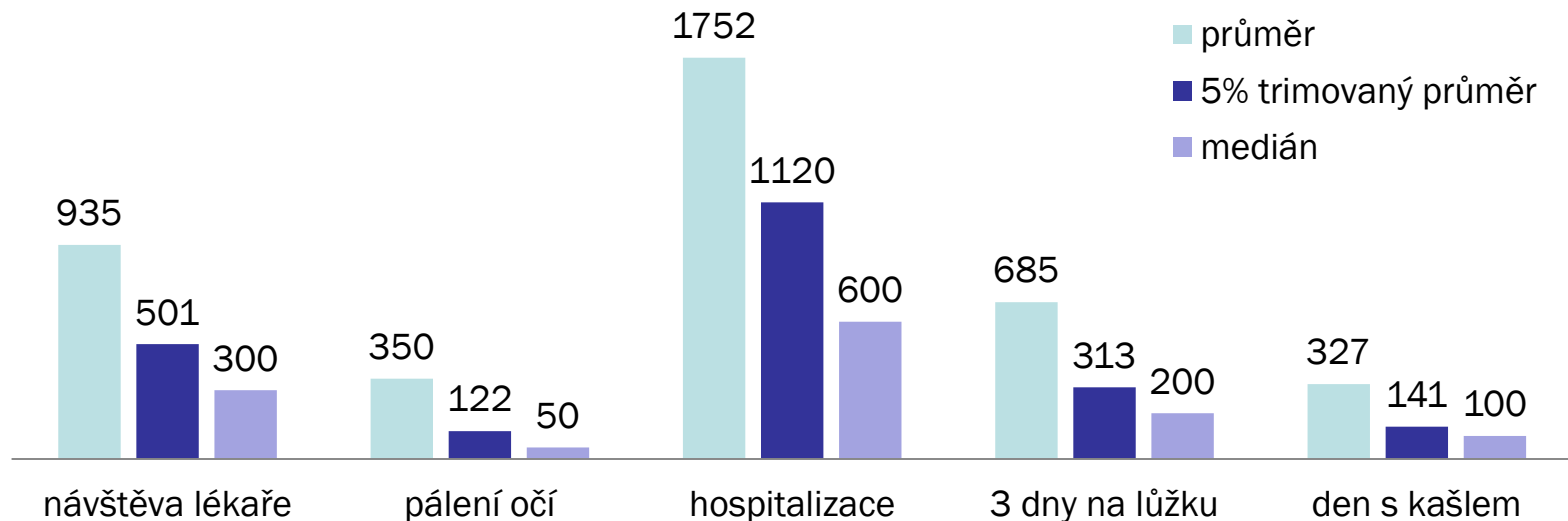
# Akutní respirační onemocnění u dospělých

## CÍL

- zjistit referenční hodnotu zdraví srovnatelnou s obdobnými zahraničními výzkumy
- testovat modely vysvětlující ochotu platit na základě socioekon., demograf., postojových a dalších charakteristik a kontextu

## VYSVĚTLUJÍCÍ PROMĚNNÉ

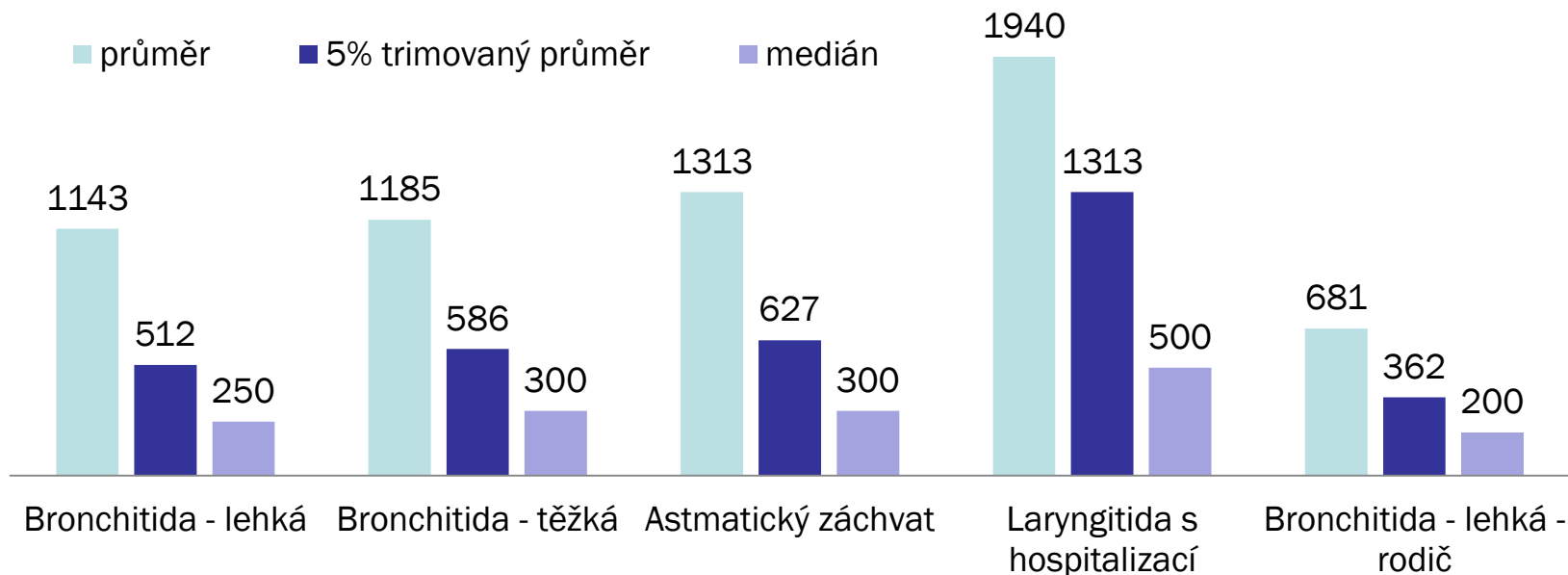
- bydliště v centru (+)
- bolest spojená s nemocí (+) či dřívější zkušenost (+)
- materialistická orientaci (-)
- nejednoznačný vliv příjmu (+/0)



# Akutní respirační onemocnění u dětí

## VYBRANÉ ZÁVĚRY

- zkušenost s astmatem ovlivňuje WTP
- rozdíl mezi okresy není signifikantní
- preventivní opatření mají vliv na WTP
- nesignifikantní vliv chování s dopadem na zdraví jako nezamýšleným účinkem
- rodičovský altruismus má pozitivní vliv na výši WTP
- nejsilnější vliv má ekonomická situace



# Chronická respirační onemocnění

významná kategorie dopadů v hodnocení  
kvality ovzduší

ExternE – 6.RP IP HEIMTSA

sběr v 6 zemích (CZ, DE, FR, GR, NO, UK)

CVM + chained standard gamble

## VYSVĚTLUJÍCÍ PROMĚNNÉ

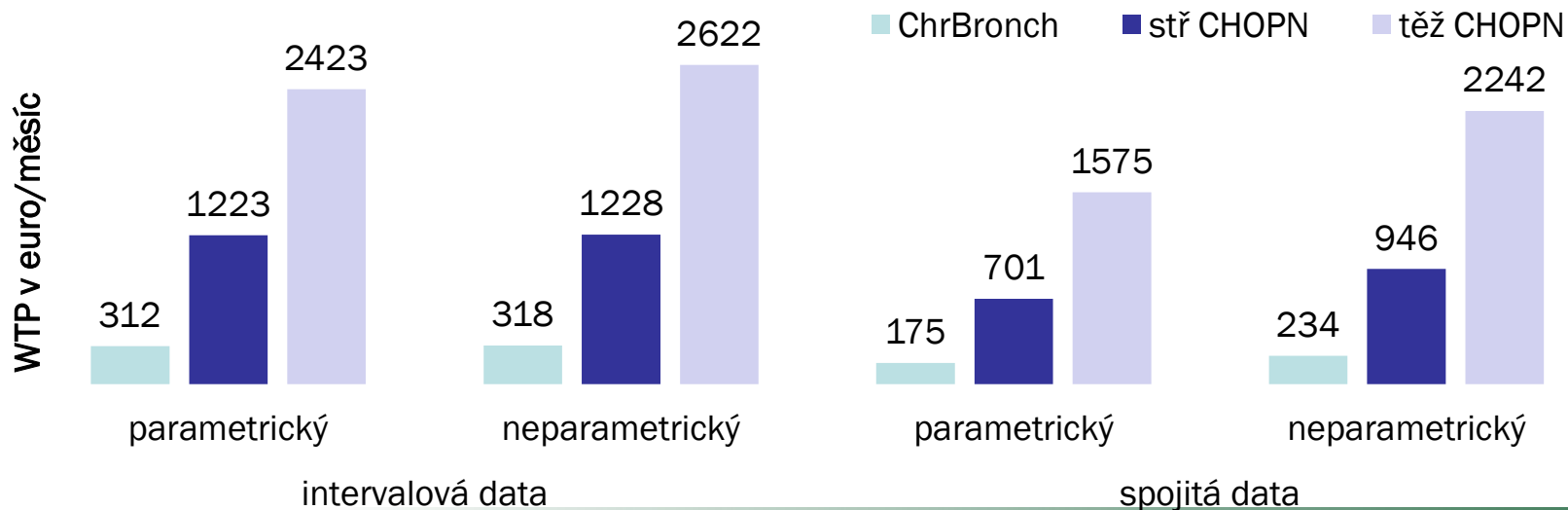
země: CZ (-)

příjem (+)

věk (-)

vzdělání (+)

diagnóza chron. nem. (-)



# Valuační studie - mortalita

ocenění rizika úmrtí z respiračních a kardiovaskulárních nemocí u dospělých

- (FP5 cCASHh, CVM; 2004-2005)

ocenění ochoty platit za prodloužení průměrné očekávané délky dožití o 3 (nebo 6) měsíců

- (FP6 NEEDS, CVM; 2005-2007)

ocenění rizika úmrtí u dětí a dospělých z respiračních nemocí, silničních nehod a rakoviny

- (FP6 VERHI-Children, CCE; 2007-2009)

ocenění rizika úmrtí u dospělých z respiračních nemocí, rakovin a nespecifikovaných příčin

- (FP6 EXIOPOL, CVM; 2008-2010)

odhad mzdového diferenciálu pro pracovní rizika u zaměstnané populace

- (MPSV PRÁCE, 2006-2008)



# Valuační studie - mortalita

## vybrané výzkumné otázky -

- kontext životního prostředí – zpravidla zvyšuje hodnotu VSL
- ochota platit za snížení rizika pro sebe a své dítě
- vliv druhu rizika smrti / „prémie“ za útrpnou příčinu smrti (typicky rakoviny)
- vliv času, kdy ke snížení rizika dojde (~latence) a jak dlouho trvá
- vliv podoby opatření vedoucího ke snížení rizika (individuální aktivita vs. opatření veřejné politiky)

# Studie ECHA – senzitivace a dávková toxicita

- ocenění vybraných dopadů environmentální a spotřebitelské expozice chemickým látkám
- opora pro socio-ekonomické analýzy v procesu hodnocení, autorizace a omezení chemických látek podle evropské chemické legislativy REACH
- odvození ochoty platit za vyhnutí se kožní a respirační senzitivaci a dávkové toxicitě (akutní renální selhání)
- dotazníkové šetření, metoda podmíněného hodnocení (CVM) a zřetězeného standard gamble

Zdravotní účinek	Ochota platit (€/případ)
Akutní dermatitida (lehká)	300
Chronická dermatitida	1,150
Akutní selhání ledvin	600
Respirační senzitivace	17.5

# Studie ECHA: fertilita a rozvoj dítěte

- Přirozené i vnější faktory infertility
  - věk, délka během které se pár snaží počít, frekvence styku, životní styl, aj.
  - **kvalita životního prostředí, chemické látky v prostředí**
  
- Odvozené preference a ochota platit - FERTILITA
  - asistovaná reprodukce (in vitro fertilisation, IVF)
  - **snížení rizika infertility (zvýšení šance početí)**
  - cenu dítěte není možno vyjádřit, ale z WTP za změnu rizika odvozujeme hodnotu **„statistického dítěte“** nebo **„statistického případu“** → ~ 350 000 Kč
  
- Odvozené preference a ochota platit – ROZVOJ DÍTĚTE
  - pravděpodobnost **vrozených vad** (malých, vnější části těla, vnitř. orgánů)
  - pravděpodobnost **velmi nízké porodní váhy** (< 1 500 gramů), s kterou mohou být spojené neurosenzorické problémy, problémy s chováním, nebo poruchy učení a omezení intelektuálních dovedností – ocenění statistického případu VNPV ~5 mi. Kč

# Studie ECHA: rakovina

## Výběrový experiment

- Snížení rizika, že člověk **onemocnění rakovinou**
- Zvýšení **podmíněné pravděpodobnosti přežití** (*za podmínky, že onemocní rakovinou*)
- Důsledky na **kvalitu života** (*za podmínky, že onemocní rakovinou*)
- **Míra bolesti** (*za podmínky, že onemocní rakovinou*)
- **Náklady** programu

## Předběžné výsledky

- WTP za snížení rizika **nepodmíněné pravděpodobnosti onemocnění rakovinou** o 1 ku 1000 během 5 let cca 50,000 Kč
- **hodnota statistické života** (VSL) pro rakovinu: ≈50 mil. Kč  
(srovnatelně s výsledky VERHI projektu VSL pro rakoviny ≈30 mil. Kč)
- Mezní užitek za snížení pravděpodobnosti onemocnění rakovinou je o 2 řády vyšší než mezní užitek ze zvýšení podmíněné pravděpodobnosti přežití

# Závěrečné shrnutí

- existuje relativně ucelený model pro ekonomické hodnocení dopadů znečištění na zdraví
- jednoznačně ukazuje, že znečištění má významné ekonomické dopady
- vhodný pro posuzování alternativ politik či projektů (RIA, EHIA) – hojně používaný pro hodnocení politik v oblasti ochrany ovzduší (Göteborgský protokol, CAFÉ, TSAP atd.)
- pro peněžní ocenění dopadů jsou k dispozici původní odhady na populaci ČR
- postupné rozšiřování i na další environmentální expozice
- komplexní hodnocení s významnou mírou nejistot → stále „jen“ podpůrný nástroj rozhodování!

**DĚKUJI ZA POZORNOST**

vojtech.maca@czp.cuni.cz