

Vliv demografického vývoje na produkci komunálních odpadů

Radovan Šomplák, Veronika Smejkalová,
Vlastimír Nevrlý

Projekt TIRMS

Název: Prognózování produkce odpadů a stanovení složení komunálního odpadu.

Doba řešení projektu: 1. 1. 2019 – 31. 12. 2021

Zadavatel: Ministerstvo životního prostředí

Rozložení projektu:

- Metodika pro analýzu složení směsného komunálního odpadu (SKO)
- Metodika pro prognózování odpadů
- Softwarové řešení

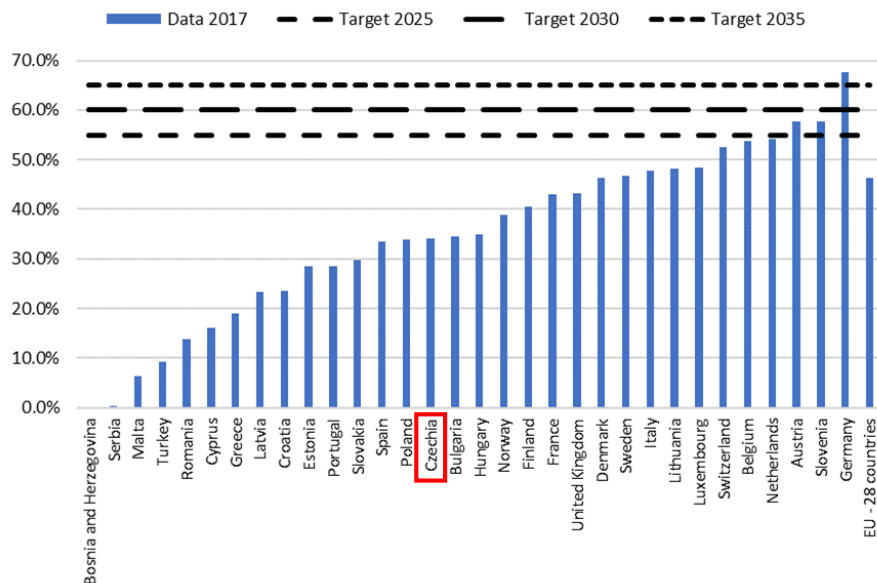
Balíček odpadového hospodářství

Návrhy směrnic Evropského parlamentu a Rady

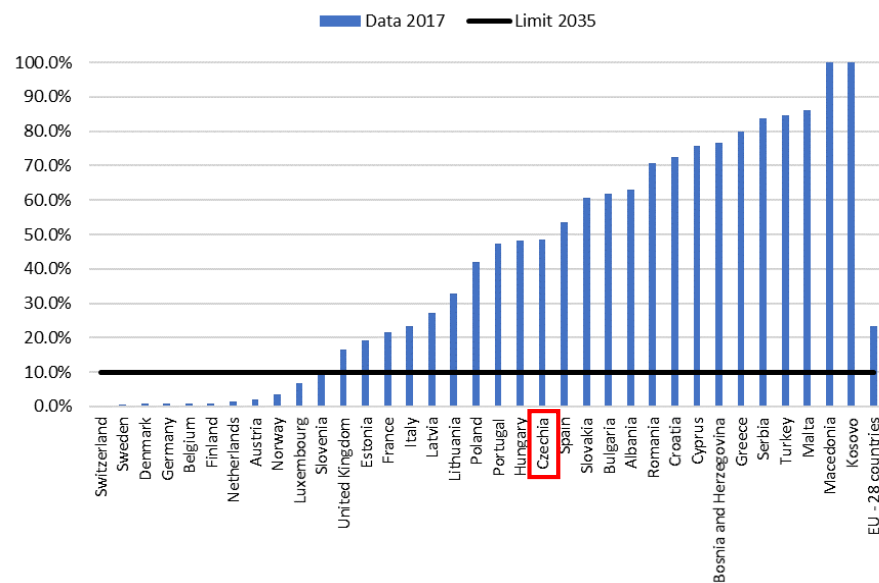
- Directive 2008/98/EC on waste
- Directive 1999/31/EC on the landfill of waste
- Directive 94/62/EC on packaging and packaging waste
- Directives 2000/53/EC on end-of-life vehicles, 2006/66/EC on batteries and accumulators and waste batteries and accumulators, and 2012/19/EU on waste electrical and electronic equipment

Ukázka aktuálního stavu

Directive 2008/98/EC on waste

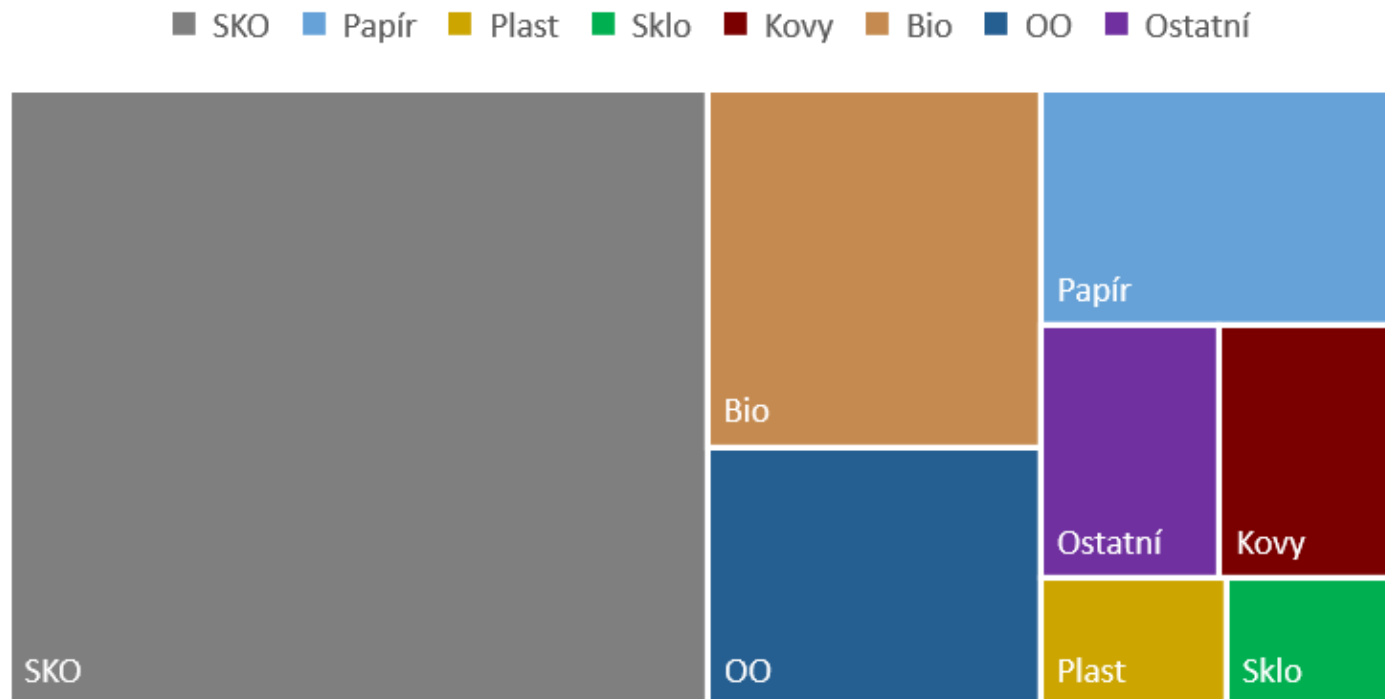


Directive 1999/31/EC on the landfill of waste



Produkce a složení komunálního odpadu (KO)

- V roce 2017 se vyprodukovalo cca 5 679 kt KO



Zdroj dat: MŽP



Ústav procesního inženýrství

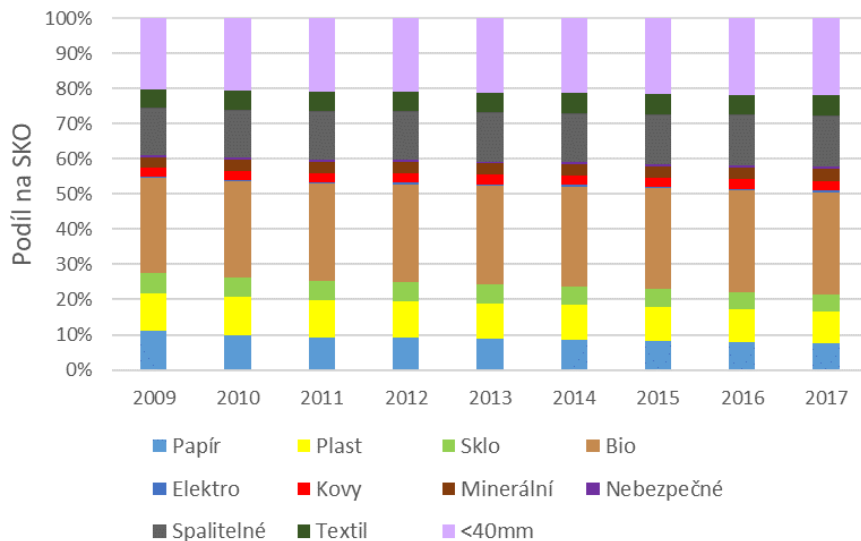
SKO – směsný komunální odpad
OO – objemný odpad

Odhad složení SKO

Odhad byl vypočítán na základě dostupných dat z rozborů SKO a typů zástavby dle metodiky Ústavu procesního inženýrství VUT v Brně.

Součet PAP, PLA, SKL činní cca 21 % z SKO.

Průměrné složení v roce 2017

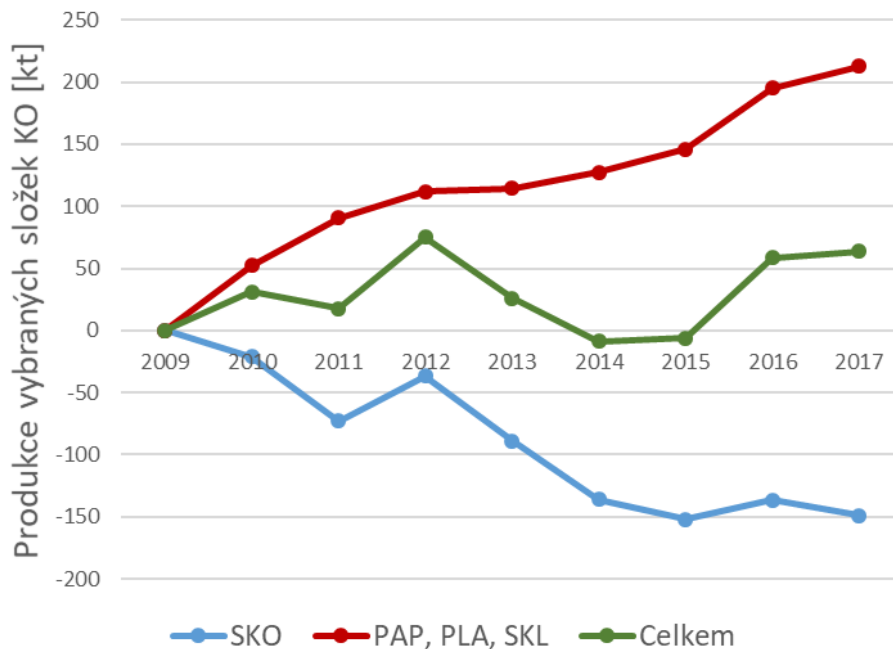


Metodika byla představena na konferenci TVIP 2016:

ŠOMPLÁK, R.; PAVLAS, M.; SMEJKALOVÁ, V. Pokrok ve vývoji nástroje pro predikci produkce a složení komunálních odpadů. In Sborník konference. Praha: CEMC, 2016. s. 1-16. ISBN: 978-80-85990-28- 7.

Vývoj produkce vybraných složek KO

- Průměrný roční pokles 0,3 % -> konstantní produkce
- Množství, o které se snižuje produkce SKO z obcí se navyšuje množství separovaného PAP, PLA a SKL
- Žádné jiné složky než PAP, PLA, SKL se díky separaci významným způsobem neodklání z SKO



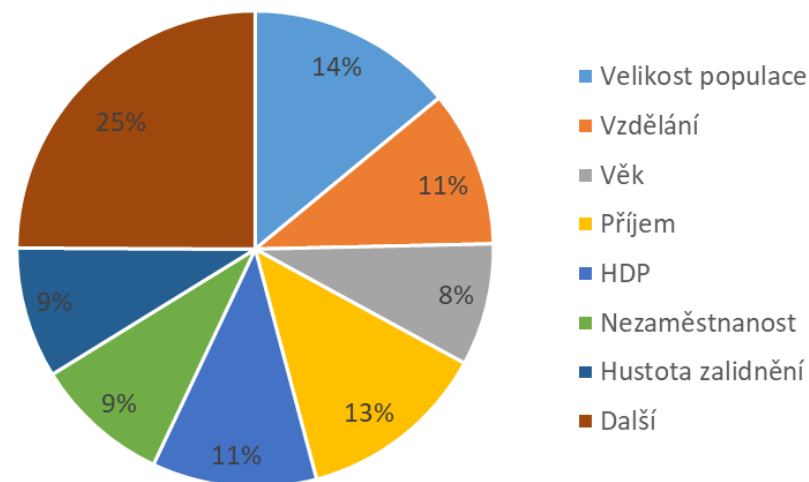
Rešerše

1) Zahraniční literatura

Celkově bylo přečteno cca 180 článků, z toho 115 se věnovalo regresní analýze

2) Analýzy na českých datech

Celkově by přečteno 22 článků, z toho 8 se věnovalo regresní analýze. Modely popisují velmi málo variability v datech



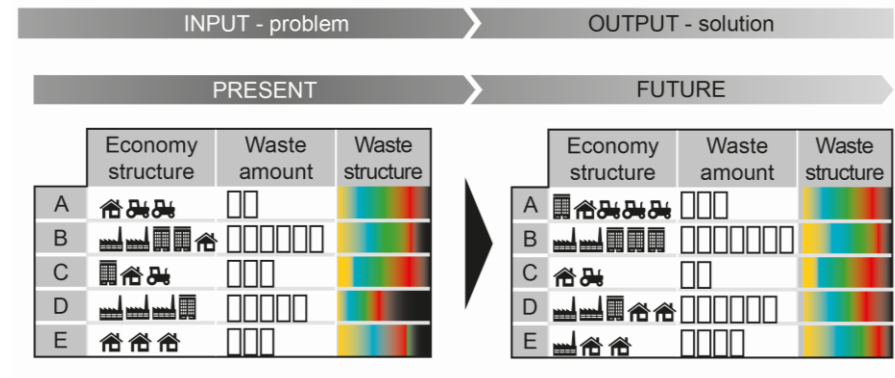
Významné socio-ekonomické faktory						
Odpad	Velikost populace	Vzdelání	Věk	Příjem	Nezaměstnanost	R ²
KO	ano		ano		ano	0,05
PLA, SKL			ano		ano	0,02
KO, SKO		ano			ano	0,04
KO, SEP						0,20
KO	ano	ano			ano	0,03
SEP	ano	ano			ano	0,09
SEP	ano	ano			ano	0,09
KO	ano	ano			ano	0,03

Možné přístupy pro prognózování produkce odpadů

- 1) Prognóza pomocí vlivných faktorů (např. regresní analýza), obtížné prognózování socio-ekonomických a demografických faktorů
- 2) Analýza časové řady dat z odpadového hospodářství (krátká časová řada -> trendová složka)
- 3) Kombinace – odfiltrování vlivu vybraných faktorů na data o produkci odpadu, analýza trendu nové řady, prognóza vybraných faktorů a následné zahrnutí do výsledků analýzy trendu

Statistická analýza dat z odpadového hospodářství

Korelační analýza mezi KO
a socio-ekonomickými a
demografickým faktory



Korelační analýza – Spearmanův korelační koeficient (1)

Celkem posuzováno přes 200 parametrů pro 4 typy komunálního odpadu.

Skupiny	ČR	kraj	ORP	obec	Celková četnost
Demografické	73	142	93	46	354
Ekonomické	169	196	73	59	497
Sociologické	116	132	43	22	313
Environmentální	3	18	0	0	21
Ostatní	15	29	9	15	68
Celková četnost	376	517	218	142	1253

Ukázka výsledků pro krajský územní rozdělení – počet obyvatel vykazuje s produkcí jednotlivých odpadů koeficient korelace poblíž 1

korelační koef. pro absolutní množství produkce

Odpad	Vek_0-14	Vek_15-64	Vek_65+
SKO	0.93	0.96	0.88
PLA	0.84	0.73	0.88
PAP	0.89	0.83	0.90
SKL	0.85	0.78	0.87

korelační koef. pro produkci na osobu

odpad	Vek_0-14	Vek_15-64	Vek_65+
SKO	0.01	0.13	-0.20
PLA	0.31	-0.38	0.32
PAP	0.27	-0.19	0.12
SKL	0.14	-0.23	0.19

Korelační analýza – Spearmanův korelační koeficient (2)

Počet významných faktorů (korelační koeficient nad 0,5)

Odpad	Absolutní množství	Množství na osobu
SKO	68	1
Papir	66	5
Plast	60	4
Sklo	61	3

Odpad	Popis	Korelační koeficient
SKO	Střední školy - počet škol celkem	0.51
PLA	Čistý disponibilní důchod domácností /osoba	0.55
PLA	Průměrný věk	0.54
PLA	Čisté peněžní příjmy domácností	0.51
PLA	Pracovní místa v evidenci úřadu práce	0.5
PAP	Pracovní místa v evidenci úřadu práce	0.66
PAP	Medián mezd [Kč]	0.64
PAP	Průměrná hrubá měsíční mzda [Kč]	0.64
PAP	Čistý disponibilní důchod domácností /osoba	0.53
PAP	Čisté peněžní příjmy domácností	0.52
SKL	Čistý disponibilní důchod domácností /osoba	0.63
SKL	Čisté peněžní příjmy domácností	0.56
SKL	Hrubý domácí produkt / os (Kč běžné ceny)	0.52

- Pro detailnější územní členění nevykazují žádné faktory koeficient korelace vyšší než 0,5.
- S ohledem na typ faktorů lze očekávat při regresní analýze problém s multikolinearitou a bude vhodné přistoupit k metodě hlavních komponent.
- Zobrazené faktory z pohledu prognózy vykazují velmi nízké koeficienty korelace

Korelační analýza – závěry

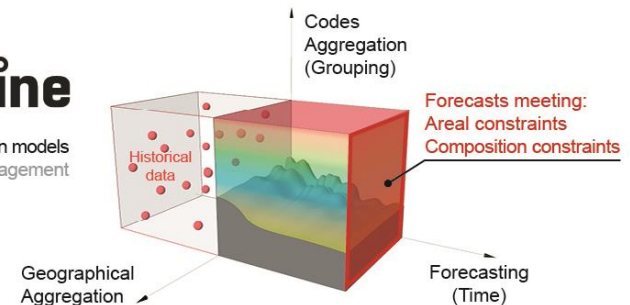
- Počet obyvatel vykazuje s produkcí jednotlivých odpadů koeficient korelace téměř 1
- Při znormování dat z odpadového hospodářství (OH) vykazuje vyšší hodnoty korelace pouze malé množství faktorů do 0,7
- Z pohledu prognózování je u uvedených faktorů velká neurčitost
- Na místo regresního modelu je přistoupeno k analýze trendu dat z OH, kde jsou implicitně uvažovány i všech vlivné faktory.
- Jediný faktor, který bude řešen separátně bude vývoj počtu obyvatel, tzn analýza trendu proběhne pro produkci odpadu na osobu.
- Výsledný model bude porovnán s prostou analýzou trendu pro absolutní množství produkce odpadů

Prognostický nástroj Justine

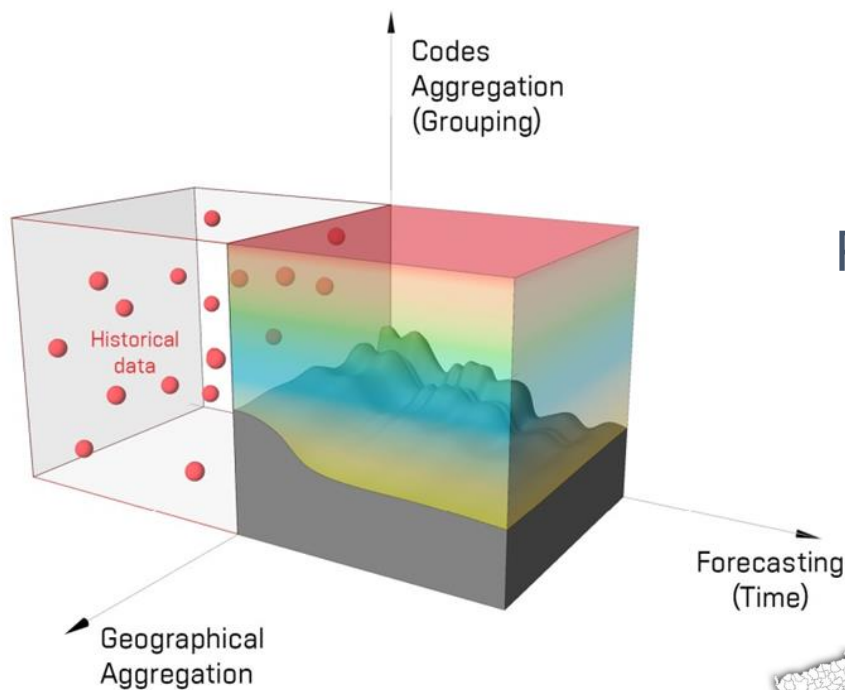
Prognózování produkce a
složení komunálních odpadů



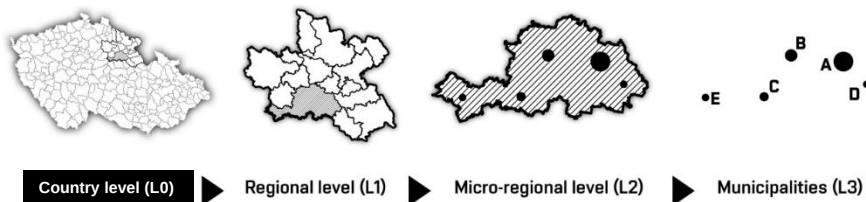
Forecasting for supply-chain models
Application in Waste Management



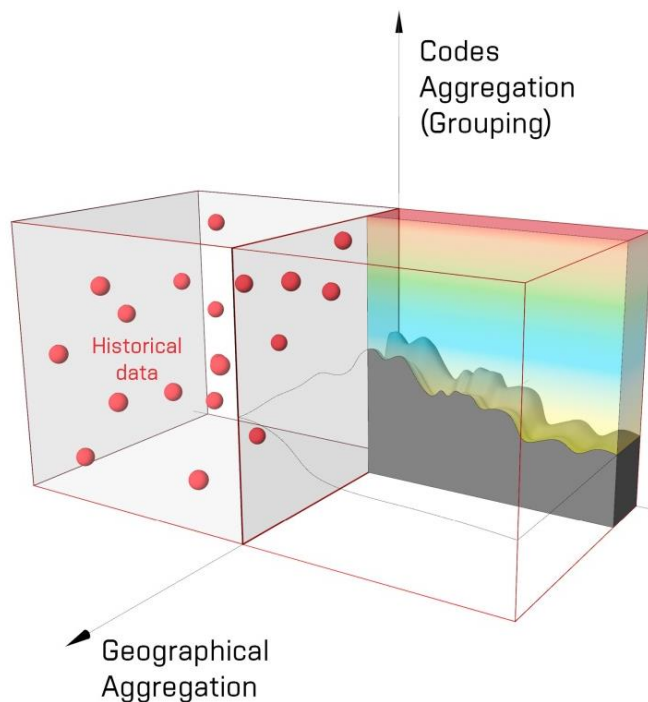
Hierarchické členění (1)



Prognózování odpadových toků
v různých územních celcích



Hierarchické členění (2)



Prognózování odpadových toků
v různých územních celcích

Forecasting
(Time)



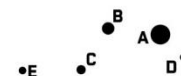
Country level (L0)



Regional level (L1)

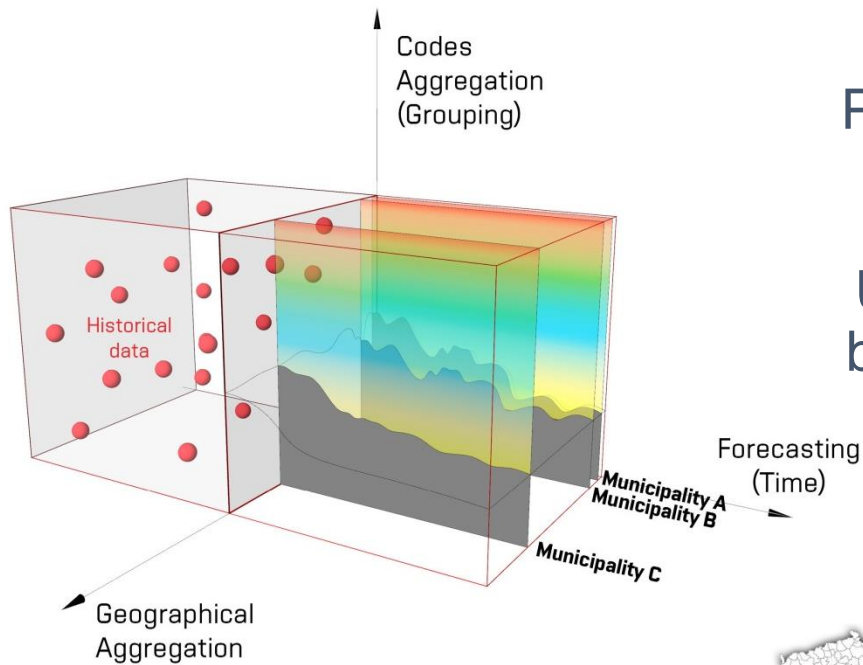


Micro-regional level (L2)



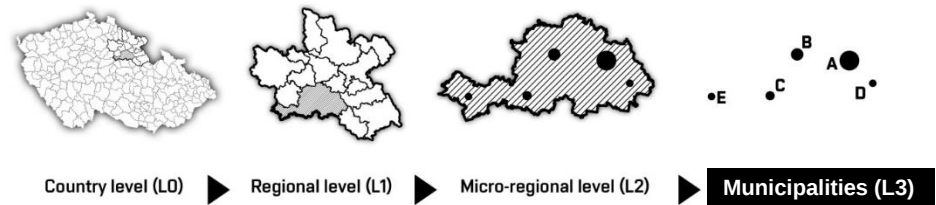
Municipalities (L3)

Hierarchické členění (3)



Prognózování odpadových toků
v různých územních celcích

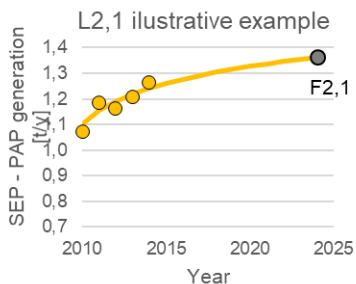
Úroveň L3 – Zlínský kraj může
být předmětem projektu DMS –
nutnost vstupních dat



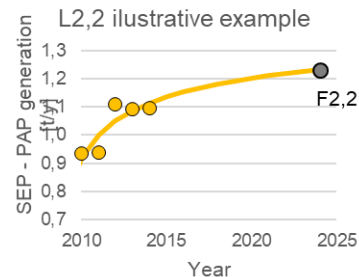
Hierarchické členění (4)

Je nutné zajistit konsistenci pro územní a typové struktury – bude využito vyrovnání dat (tzv. data-reconciliation) pomocí kvadratické optimalizace. Váhy (obecně variační matice) bude stanovena na základě kvality proložení dat (např. index determinace)

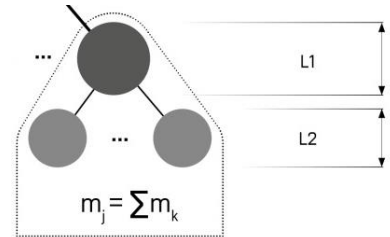
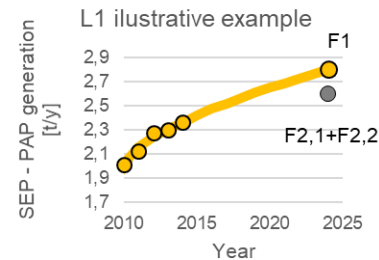
Konzistentnost prognózy ve stromové struktuře územních celků



+



=



$$\begin{aligned} \min_z & (z - z_m)^T W^{-1} (z - z_m) \\ \text{subject to } & z \subseteq [y, x, u, \theta] \\ & f(y, x, u, \theta) = 0 \\ & g(y, x, u, \theta) \leq 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \min_{x, y^*} & \sum_{i=1}^n \left(\frac{y_i^* - y_i}{\sigma_i} \right)^2 \\ \text{subject to } & F(x, y^*) = 0 \\ & y_{\min} \leq y^* \leq y_{\max} \\ & x_{\min} \leq x \leq x_{\max}, \end{aligned}$$

Předpoklady a vazebné podmínky uvažované v prognóze

- a) Výsledky budou obsahovat informaci o konfidenčních intervalech
- b) Vhodně zvolené okrajové podmínky sníží riziko nereálných odhadu (data jsou zvolena na základě zkušenosti ze zahraničí a ČR)

Fractions	Housing structure		
	Rural area	Combined	City
PAP	93 %	86 %	70 %
PLA	73 %	64 %	52 %
GLA	90 %	89 %	73 %
SEP/TOTAL _{SEP} Eq(5) to Eq(4)	86 %	72 %	59 %

- c) Vazby mezi jednotlivými odpady mají agregační charakter a vyhlazují extrémny (významný přínos aplikace principů data-reconciliation, viz předchozí slidy)

$$1) PAP = SEP_{PAP} + RES_{PAP}$$

$$2) PLA = SEP_{PLA} + RES_{PLA}$$

$$3) GLA = SEP_{GLA} + RES_{GLA}$$

$$4) TOTAL_{SEP} = PAP + PLA + GLA$$

$$5) SEP = SEP_{PAP} + SEP_{PLA} + SEP_{GLA}$$

$$6) MSW^* = SEP_{PAP} + SEP_{PLA} + SEP_{GLA} + RES$$

$$7) RES_{SEP} = RES_{PAP} + RES_{PLA} + RES_{GLA}$$

$$8) RES = RES_{PAP} + RES_{PLA} + RES_{GLA} + RES_{OTH}$$

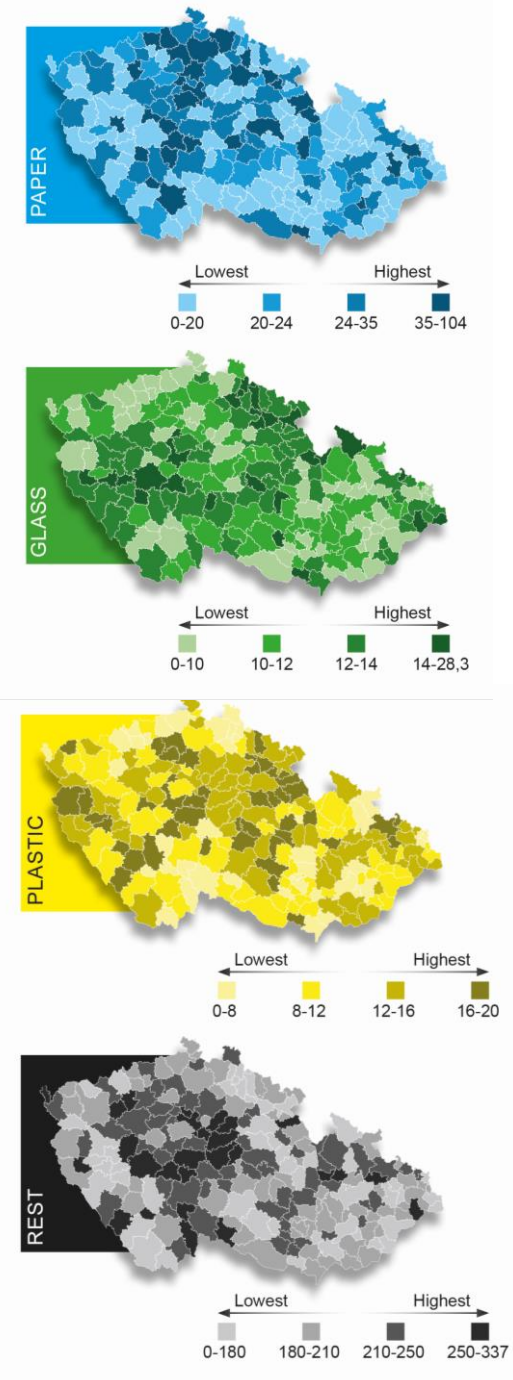
Případové studie

Data:

1. Historická data 2009 – 2013, prognóza 2017
2. Historická data 2009 – 2017, prognóza 2035

Modely:

- A) Model bez demografického vývoje
- B) Model s demografickým vývojem



1. Data 2009 – 2013, prognóza 2017

Datové sady:

Obyvatelstvo ČR, ČSÚ:

- Data do roku 2013
- Prognóza 2014 - 2017

Produkce odpadu:

- Data 2009 – 2013 (za účelem konzistence s demografickou projekcí)
- Prognóza 2017

Úspěšnost prógnózy počtu obyvatel ČSÚ

	2014	2015	2016	2017
ČR	0.01%	-0.26%	-0.42%	-0.66%
Průměr krajů	0.01%	-0.18%	-0.31%	-0.51%

Demografie je prognózována s větší úspěšností než data z odpadového hospodářství:

1. Významně delší časová řada
2. Statičtější oblast (např. nižší dopad vlivu technologií)

Úspěšnost prógnózy produkce vybraných složek KO v roce 2017 (průměrná chyba prognózy na krajské úrovni)

	Model A (bez demografického vývoje)	Model B (s demografickým vývojem)
SKO	0.7%	0.7%
Papír	-7.8%	-8.0%
Plast	-20.9%	-20.8%
Sklo	-9.2%	-9.7%

Chyba tříděných složek dána krátkou časovou řadou

2. Data 2009 – 2017, prognóza 2035 (1)

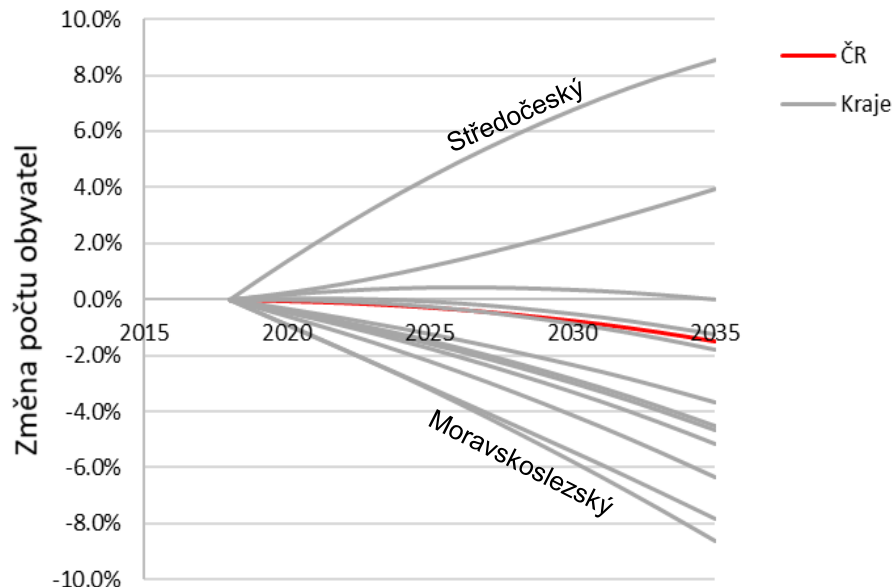
Datové sady:

Obyvatelstvo ČR, ČSÚ:

- Data do roku 2017
- Prognóza 2018 – 2035 (vznik na základě dat do roku 2013!)

Produkce odpadu, MŽP:

- Data 2009 – 2017
- Prognóza 2035



- Očekávaný pokles obyvatel ČR o 1,5 % do roku 2035
- Významná migrace obyvatel mezi kraji ČR

Konzistence dostupných dat ČSÚ – Prognóza 2050

Součet krajů z roku 2017: 10,050,778

ČR z roku 2018: 10,736,254

ČR z roku 2013: 9,812,872

2. Data 2009 – 2017, prognóza 2035 (2)

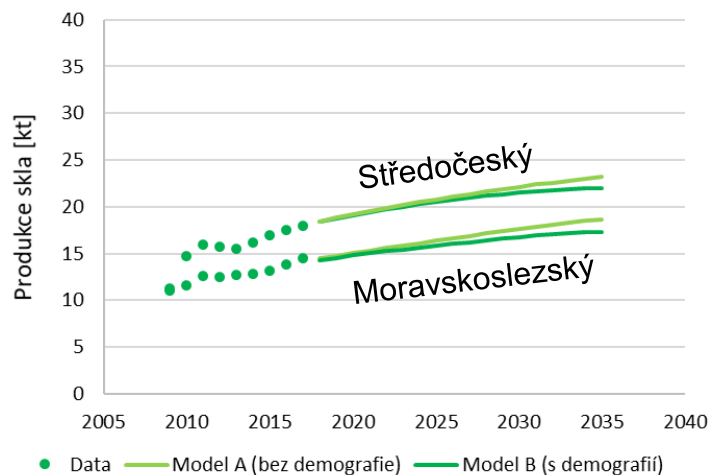
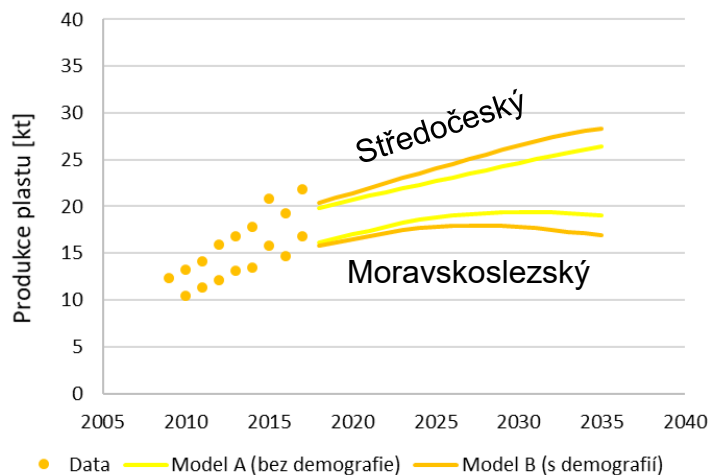
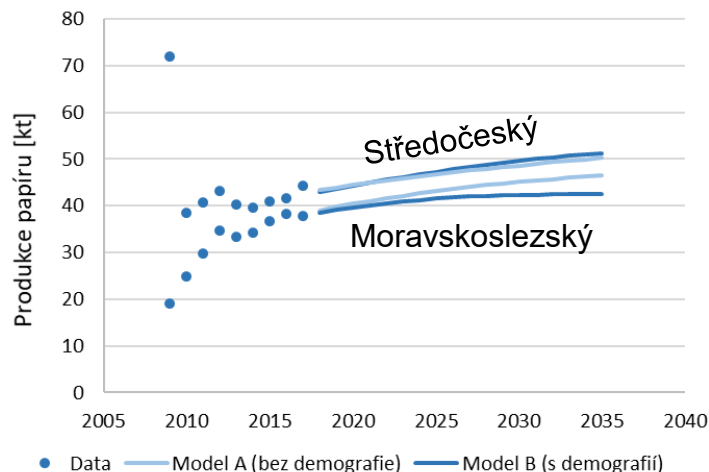
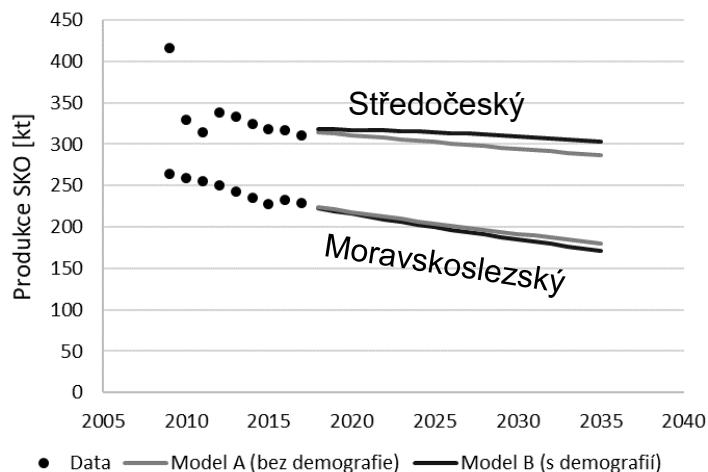
Procentuální rozdíl predikované produkce podle modelů A (bez demografického vývoje) a B (s demografickým vývojem)

Až o 11 % pro PLA vyšší predikovaná produkce podle modelu A (nezohledňuje očekávaný pokles počtu obyvatel).

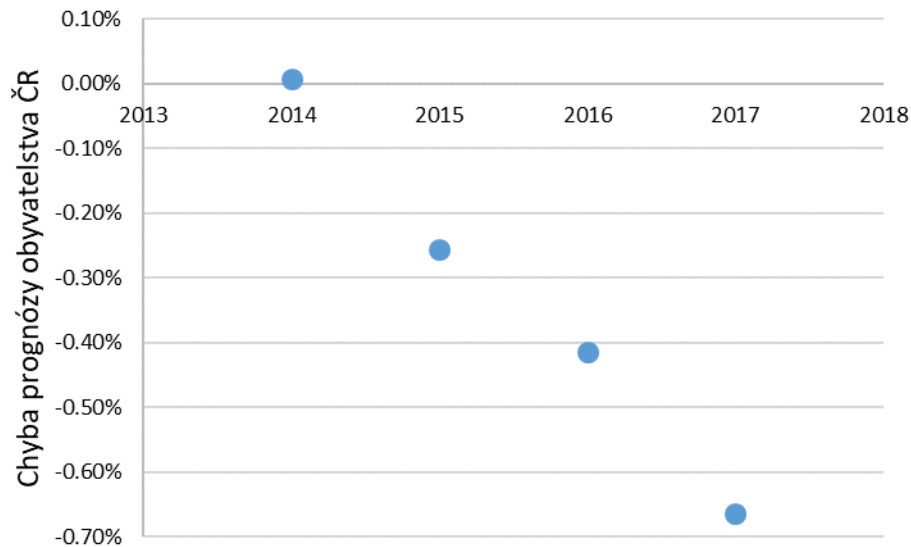
Pro většinu sledovaných složek KO podle modelu A nižší produkce (nezohledňuje očekávaný nárůst počtu obyvatel).

	SKO	PAP	PLA	SKL
ČR	2.2%	2.7%	2.5%	4.1%
Jihočeský	4.3%	3.7%	6.5%	4.2%
Jihomoravský	5.8%	5.9%	4.6%	5.4%
Karlovarský	5.7%	4.9%	5.1%	5.8%
Královéhradecký	3.4%	3.5%	2.5%	3.7%
Liberecký	1.7%	4.4%	1.4%	3.5%
Moravskoslezský	5.2%	8.8%	11.2%	7.2%
Olomoucký	4.6%	4.3%	2.4%	2.6%
Pardubický	-5.0%	0.1%	2.2%	3.4%
Plzeňský	0.5%	1.5%	2.1%	1.6%
Středočeský	-5.8%	-1.9%	-7.5%	5.0%
Ústecký	5.6%	5.9%	4.9%	3.4%
Vysočina	2.4%	3.4%	4.6%	3.4%
Zlínský	5.0%	5.6%	5.7%	6.1%
Hlavní město Praha	3.5%	-4.3%	-1.0%	0.9%

2. Data 2009 – 2017, prognóza 2035 (3)



Shrnutí



Problematické body

- Není dostupná prognóza pro aktuální rok
- Prognóza pouze pro krajskou úroveň
- Prognóza obyvatelstva ČR vykazuje systematickou chybu

Výzkumné otázky:

- Způsob verifikace dostupné prognózy
- Přístup k zohlednění krajské prognózy pro nižší územní celky
- Konstrukce pásů spolehlivosti včetně demografického aspektu

Děkuji za pozornost!

Příspěvek byl vytvořen za podpory projektu "Strategické partnerství pro environmentální technologie a produkci energie"
reg. č. CZ.02.1.01/0.0/0.0/16_026/0008413 financovaného z EFRR

Ing. Radovan Šomplák, Ph.D.
(Radovan.Somplak@vutbr.cz)



EUROPEAN UNION
European Structural and Investment Funds
Operational Programme Research,
Development and Education



Ústav procesního inženýrství