

Modelovanie zvládnutia rizika výskytu moru včelieho plodu prostredníctvom metód neživotného poistenia s ohľadom na bioklimatické zmeny

Ján Holécý¹ – Ľubomír Korený² – Jakub Medek³ – Michaela Korená Hillayová⁴

^{1,3} Katedra lesníckej ekonomiky a politiky, T. G. Masaryka 24, Technická univerzita vo Zvolene, 960 01 Zvolen, SR,

^{2,4} Katedra prírodného prostredia, T. G. Masaryka 24, Technická univerzita vo Zvolene, 960 01 Zvolen, SR,

¹jan.holecy@tuzvo.sk, ²xkoreny@tuzvo.sk, ³xmedek@is.tuzvo.sk, ⁴michaela.hillayova@tuzvo.sk

Abstract

This article presents a mathematical model proposed to analyse and mitigate the risk of foulbrood occurrence in Slovakia within the context of ongoing bioclimatic changes. Our approach is based on a statistical analysis of a disease occurrence risk over an extended historical period, applying the theory of extreme values to identify and model the most severe outbreaks. These findings highlight the need for new strategies in beekeeping. As a tool for mastering this environmental hazard, we introduce a non-life insurance model. This model provides a gross insurance premium, which consists of a net premium and a risk surcharge. The surcharge is designed to cover the insurer's risk, ensuring that all claims can be paid from the collected premiums, even with a specific number of insured bee colonies (m). The surcharge for expected extreme losses is determined by the Gumbel probability distribution, a key component derived from our statistical analysis. The application of this model provides a mathematical framework for the efficient operation of the Slovak Beekeepers' Association's Mutual Aid Fund. This approach would allow the association to manage the hazard of this detrimental biotic element more cost-effectively than through commercial insurance services, making it a sustainable strategy for beekeeping in a changing climate.

Key words: Bee colony, biometeorology, linear regression, microclimate, thermoregulation

Úvod

Včely, ktoré sú nevyhnutné pre efektívne poľnohospodárstvo a biodiverzitu, sú obzvlášť citlivé na zmeny v týchto bioklimatických podmienkach. Ich existencia je v súčasnosti vážne ohrozená nevyliciteľným ochorením, morom včelieho plodu, ktoré celosvetovo spôsobuje rozsiahle ekonomické straty. Naš výskum sa zameriava na vyplnenie medzery v súčasnom výskume, ktorou je chýbajúca systematická štatistická analýza výskytu ochorenia vo vzťahu k prebiehajúcim klimatickým zmenám. V reakcii na tento problém navrhujeme nový matematický model poistenia včelstiev, ktorý kombinuje princípy neživotného poistenia s pokročilou teóriou extrémnych hodnôt. **Cieľom tohto príspevku je poskytnúť návrh matematického modelu poistenia kapitálovej investície projektov chovu včiel proti riziku moru včelieho plodu pre Svojpomocný fond Slovenského zväzu včelárov. Veríme, že aplikácia tohto modelu im pomôže efektívne sa prispôsobiť narastajúcemu riziku moru včelieho plodu a zabezpečiť udržateľnosť včelárstva.**

Materiál a metódy

• Zber dát:

Počty pozorovaných a infikovaných včelstiev morom včelieho plodu (*Paenibacillus larvae*, sp.) v piatich okresoch regiónu Liptova v rokoch 2019-2020.

• Štatistická analýza rizika výskytu moru včelieho plodu:

Mortalitu včelstiev v čase (t) sme na základe pravdepodobnosti výskytu infekcie v populácii registrovaných včelstiev (f) modelovali pomocou distribučnej funkcie rozdelenia $Exp(p)$ s parametrom (p) intenzity (rýchlosti) mortality.

• Ekonomická analýza projektu chovu včiel:

Pre modelový projekt s 240 včelstvami sme vypočítali čistú súčasnú hodnotu projektu $ČSH(i)$ pri alternatívnych nákladoch kapitálovej investície (i), ročný ekvivalent $REČSH(i)$ a zraniteľnú kapitálovú hodnotu jedného včelstva $K(1)$.

$$(1) REČSH(i) = ČSH(i) \cdot \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (2) K(1) = \frac{REČSH(i)}{\text{počet včelstiev}}$$

• Primárny matematický model poistenia:

Primárny model poistenia kvantifikuje brutto ročný poistný poplatok $BP(m)_{1-\alpha}$ za poistenie (m) včelstiev, ktorý sa skladá z netto ročného poistného poplatku (NP) a rizikovej prirážky $RP(m)_{1-\alpha}$ so zvolenou spoľahlivosťou (α) = 0,95.

$$(3) BP(m)_{1-\alpha} = NP + RP(m)_{1-\alpha} \quad (4) NP = F(1) \cdot K(1)$$

$$(5) RP(m)_{1-\alpha} = E(m)_{1-\alpha} \cdot K(1)$$

Veličina $E(m)_{1-\alpha}$ informuje o pravostrannom odhade strednej chyby poistenia a je modelovaná s použitím kvantilu distribučnej funkcie rozdelenia $\chi^2_{(2m);1-\alpha}$.

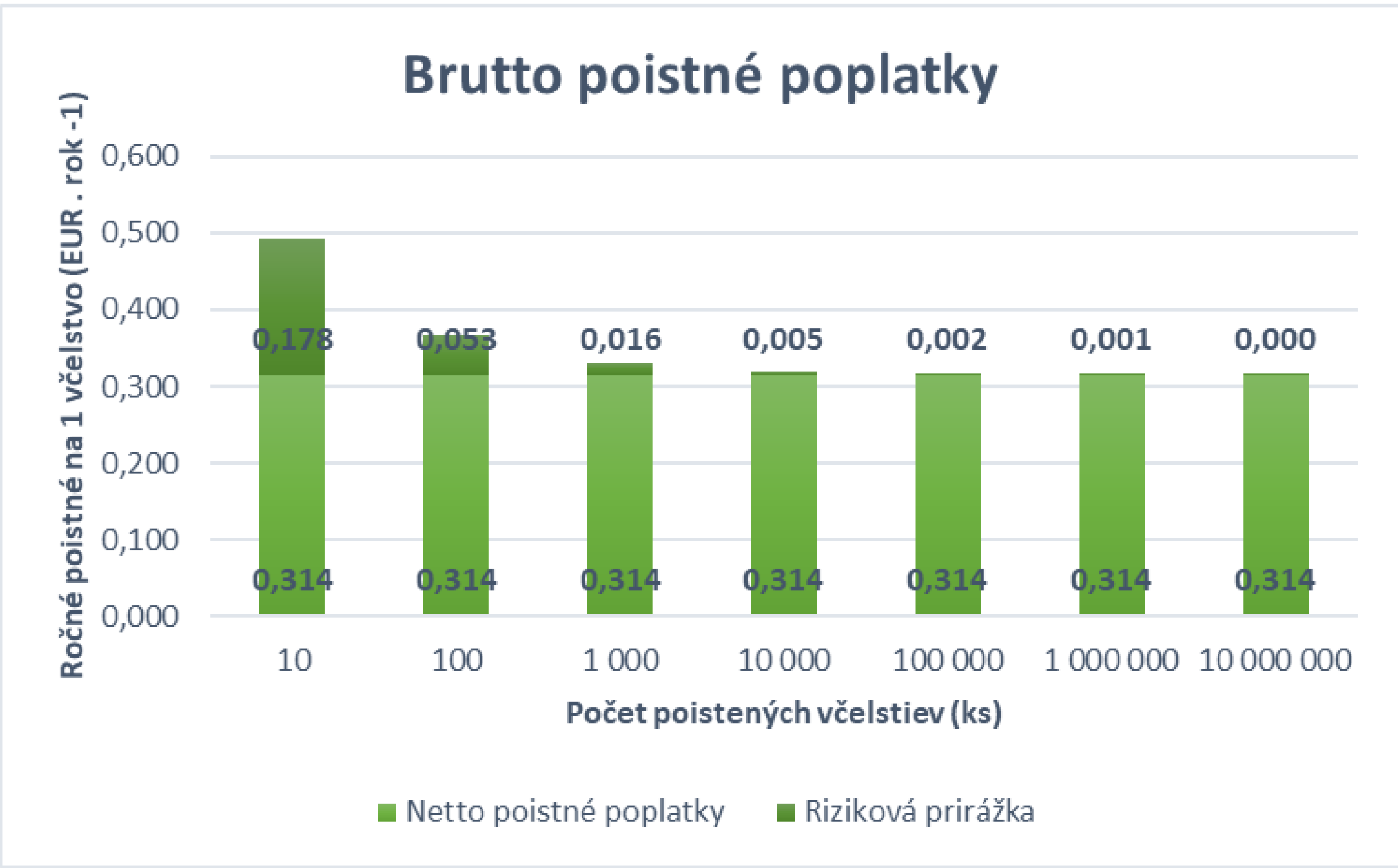
• Sekundárny matematický model poistenia:

Sekundárny model je určený na krytie rizika výskytu extrémnych škôd, za ktoré sa považujú škody nad rámec uvažovaných hornej hranice $E(m)_{1-\alpha}$. Riziko výskytu extrémov sme modelovali pomocou rozdelenia $G(a_n; b_n)$ s parametrami (a_n) a (b_n) a s jeho aritmetickým priemerom (p_e) pri uvažovanom čase (n) = 20 návratu extrém v rokoch. Príplatok na poistenie proti riziku výskytu extrémnych škôd $EXT(m)_{1-\alpha}$ a celkové brutto ročné poistné poplatky za poistenie 1 včelstva $CBP(m)_{1-\alpha}$ sú rovné:

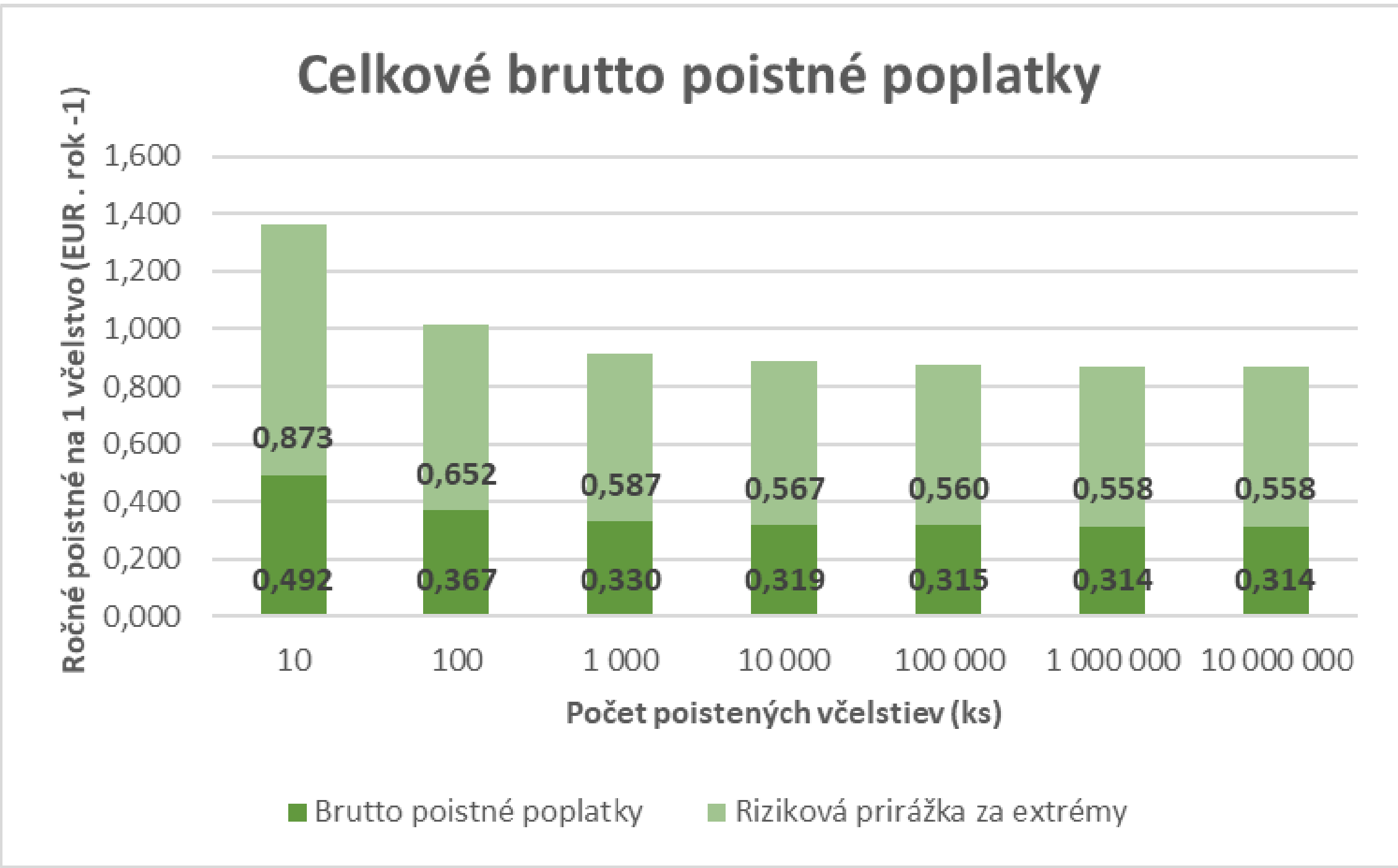
$$(6) CBP(m)_{1-\alpha} = BP(m)_{1-\alpha} + EXT(m)_{1-\alpha} \quad (7) EXT(m)_{1-\alpha} = p_e(m)_{1-\alpha} \cdot K(1)$$

Výsledky a diskusia

Na základe našich výpočtov, pri zraniteľnej hodnote včelstva 56 EUR a pravdepodobnosti infekcie 0,0056 za jeden rok, sme získali predbežné výsledky modelov poistenia včiel. Výsledky demonštrujú, ako sa brutto poistné a celkové brutto poistné poplatky zvýšené o prirážku za riziko výskytu extrémov znižujú s rastúcim počtom poistených včelstiev, čo je kľúčový efekt pre efektívne fungovanie poistného systému. Brutto poistné poplatky sa pohybujú v rozmedzí od 0,4918 EUR.rok⁻¹ pri 10 poistených včelstvách po 0,3138 EUR.rok⁻¹ pri rozsahu 10 000 000 poistených včelstiev. Celkové brutto poistné poplatky sa pohybujú v rozmedzí od 1,3647 EUR.rok⁻¹ pri 10 poistených včelstvách po 0,8715 EUR.rok⁻¹ pri rozsahu 10 000 000 poistených včelstiev.



Obr. 1 Poistné poplatky primárneho modelu



Obr. 2 Poistné poplatky sekundárneho modelu

Záver

Model demonštruje, ako sa brutto poistné poplatky znižujú so zvyšujúcim sa počtom poistených včelstiev, čo naznačuje výhody úspor z rozsahu a robí poistenie dostupnejším pre včelárov. Predbežné výsledky ukazujú, že tento prístup môže významne prispieť k finančnej a celkovej stabilite včelárstva. Implementácia navrhovaného modelu by poskytla robustnú matematickú podporu pre Svojpomocný fond Slovenského zväzu včelárov, čo by umožnilo efektívnejšie riadenie fondu a cenovo výhodnejšie zvládanie rizika v porovnaní s komerčnými poisťovňami, ktoré na Slovensku túto službu v súčasnosti neponúkajú.

Podakovanie

Autori ďakujú programu EÚ NextGenerationEU prostredníctvom Plánu obnovy a odolnosti pre Slovensko v rámci projektu č. 09I03-03-V04-00380 (<https://enviherb.tuzvo.sk/>), a Vedeckej agentúre Ministerstva školstva, výskumu, vývoja a mládeže SR a Slovenskej akadémie vied (VEGA) v rámci projektov VEGA 1/0562/24 a VEGA 1/0443/23.