

# Cognitive Biases in Architectural Decision-Making: Impact and Debiasing Strategies

## **Abstract.**

**Context:** Cognitive biases are natural heuristics impacting each person's decision-making process. Biased decisions cannot be considered fully rational since they are based on various oversimplifications and mental shortcuts. Cognitive biases have been researched in numerous software engineering subdomains, such as testing, requirements engineering, and software effort estimation. In most cases, the biases' were a source of various faulty decisions, and as such, researchers strive to alleviate the biases' influence on software practitioners. The impact of cognitive biases has been of particular interest in the domain of software architecture since the architecture itself can be viewed as a set of design decisions. The impact of cognitive biases on software architecture can be severe, e.g., it may result in incurring unnecessary architectural technical debt. As such, the software architecture community has recognized that research on debiasing methods for software architects is a pressing necessity.

**Goal:** This thesis presents a set of studies that firstly explored rationales behind architectural decisions and how cognitive biases impact architectural decision-making. Since this impact was proven to be a danger to software projects, the secondary goal of debiasing (i.e., alleviating the impact of biases) was defined. As such, this thesis answers the following research questions:

- RQ1: What rationales are the main reasons behind decisions impacting software practitioner's architectural decision-making?
- RQ2: How do cognitive biases impact architectural decision-making?
- RQ3: Does cognitive biases' impact on architectural decision-making cause architectural technical debt?
- RQ4: How can the negative impact of cognitive biases on architectural decision-making be alleviated?

**Method:** In order to answer the research questions, various research methods were utilized. The data on rationales behind architectural decisions (RQ1) was obtained through questionnaires and interviews with software practitioners. Information about specific biases impacting architectural decision-making (RQ2) was gathered during a group workshop with software practitioners. Specifics about cognitive biases' influence on incurring architectural technical debt (RQ3) were explored through a series of semi-structured interviews with architects. The debiasing intervention (RQ4) was designed and tested in increments: first through a small pilot study with two groups of students, then through a controlled experiment with 12 groups of students, and then finally verified in an experiment with experienced practitioners.

**Results:** This thesis' results are numerous. Firstly, the most often used rationales behind architectural decisions were identified, as well as the understanding of why practitioners use these rationales (RQ1). Secondly, a list of 11 cognitive biases that have an impact on

architectural decision-making, as well as their consequences, was created (RQ2). The impact of cognitive biases on incurring architectural technical debt was found, which resulted in the finding that three dominating biases are the most problematic: optimism bias, confirmation bias, and anchoring (RQ3). Finally, a debiasing workshop was designed and empirically proven to be beneficial for both students and experienced practitioners (RQ4).

**Conclusions:** The series of studies presented in this paper resulted in a deepened understanding of cognitive biases on architectural decision-making. Since this impact appeared to be potentially severely dangerous, a debiasing treatment to alleviate the impact of biases was designed and empirically validated. Materials allowing the replication of the debiasing intervention and the debiasing workshop are available online.

**Keywords:** Cognitive bias, Software Architecture, Architectural decision-making, Debiasing

# Błędy Poznawcze w Podejmowaniu Decyzji Architektonicznych: Wpływ oraz Przeciwdziałanie

## Streszczenie.

**Kontekst:** Błędy poznawcze to naturalne heurystyki, które wpływają na proces podejmowania decyzji przez każdego człowieka. Decyzje podjęte pod ich wpływem, nie mogą być uważane za w pełni racjonalne, ponieważ opierają się na różnych uproszczeniach i skrótach myślowych. Błędy poznawcze były badane w wielu poddziedzinach inżynierii oprogramowania, takich jak testowanie, inżynieria wymagań i szacowanie nakładu pracy potrzebnego do realizacji projektów informatycznych. W większości przypadków błędny poznawcze były źródłem różnych opacznych decyzji, w związku z czym badacze starają się złagodzić wpływ uprzedzeń na praktyków oprogramowania. Wpływ błędów poznawczych jest szczególnie znaczący w dziedzinie architektury oprogramowania, ponieważ sama architektura może być zdefiniowana jako zbiór decyzji. Wpływ błędów poznawczych na architekturę oprogramowania może być dotkliwy, na przykład mogą wpłynąć na zaciągnięcie niepotrzebnego architektonicznego długu technicznego. W związku z tym społeczność badaczy architektury oprogramowania uznaje że badania nad metodami przeciwdziałania błędom poznawczym dla architektów oprogramowania są pilną koniecznością.

**Cel:** Niniejsza rozprawa przedstawia zestaw badań, które miały na celu: (1) Umożliwienie odkrycia powszechnie używanych kryteriów podejmowania decyzji architektonicznych oraz (2) Zbadanie wpływu błędów poznawczych na podejmowanie decyzji architektonicznych. Ponieważ wpływ ten okazał się potencjalnym zagrożeniem dla projektów informatycznych, zdefiniowano drugorzędny cel badań, czyli złagodzenie wpływu błędów poznawczych. W związku z tym niniejsza rozprawa odpowiada na następujące pytania badawcze:

- RQ1: Jakie powody stoją za podejmowaniem decyzji architektonicznych przez praktyków oprogramowania?
- RQ2: W jaki sposób błędy poznawcze wpływają na podejmowanie decyzji architektonicznych?
- RQ3: Czy wpływ błędów poznawczych na podejmowanie decyzji architektonicznych jest powodem zaciągania architektonicznego długu technicznego?
- RQ4: W jaki sposób można złagodzić negatywny wpływ błędów poznawczych na podejmowanie decyzji architektonicznych?

**Metoda:** Aby odpowiedzieć na pytania badawcze, wykorzystano różne metody badawcze. Dane dotyczące racjonalności decyzji architektonicznych (RQ1) uzyskano za pomocą kwestionariuszy i wywiadów z ekspertami. Informacje na temat konkretnych błędów poznawczych wpływających na podejmowanie decyzji architektonicznych (RQ2) zostały zebrane podczas warsztatów grupowych z ekspertami. Szczegółowe informacje na temat wpływu błędów poznawczych na zaciąganie architektonicznego długu technicznego (RQ3) zostały zbadane poprzez serię wywiadów z architektami oprogramowania. Interwencja przeciwdziałająca (RQ4) została zaprojektowana i przetestowana w trzech kropach: na-

jpierw poprzez małe badanie pilotażowe z dwiema grupami studentów, następnie poprzez eksperyment z 12 grupami studentów, a następnie ostatecznie zweryfikowana w eksperymencie z doświadczonymi praktykami.

**Wyniki:** Wyniki tej pracy są różnorodne. Po pierwsze, znaleziono najczęściej używane powody stjące za decyzjami architektonicznymi, a także odkryto, dlaczego praktycy uznają te powody za ważne (RQ1). Po drugie, stworzono listę 11 błędów poznawczych, które mają wpływ na podejmowanie decyzji architektonicznych, a także ich konsekwencje (RQ2). Ustalono wpływ błędów poznawczych na zaciąganie architektonicznego długu technicznego, w wyniku czego stwierdzono, że trzy dominujące błędy poznawcze są najbardziej problematyczne: optymizm, potwierdzenie i zakotwiczenie (RQ3). Ostatecznie, zaprojektowano warsztat przeciwdziałający, które okazały się korzystny zarówno dla studentów, jak i doświadczonych praktyków (RQ4).

**Wnioski:** Seria badań przedstawionych w niniejszej rozprawie zaowocowała pogłębionym zrozumieniem błędów poznawczych w podejmowaniu decyzji architektonicznych. Ponieważ wpływ ten okazał się potencjalnie bardzo niebezpieczny, zaprojektowano i empirycznie zwalidowano strategię łagodzącą wpływ błędów poznawczych. Materiały pozwalające na replikację tej interwencji, czyli warsztatu przeciwdziałającego, są dostępne online.

**Słowa kluczowe:** Błąd poznawczy, Architektura Systemów Informatycznych, Podejmowanie decyzji architektonicznych, Przeciwdziałanie błędom poznawczym