

**Vedoucí týmu:** Josef Urban

**Označení týmu:** ARG – Skupina automatického uvažování a formálních metod, CIIRC-ČVUT

## 1. Obsah výzkumu – state-of-the art

Skupina automatického uvažování a formálních metod (ARG) v sekci Inteligentních systémů na CIIRC-ČVUT se zabývá výzkumem v oblasti automatického uvažování (Automated Reasoning) a jeho kombinací se strojovým učením a dalšími metodami umělé inteligence. Výzkum kombinací učení a odvozování naše skupina do velké míry založila a je v něm světová špička. Systémy vyvíjené ARG pravidelně vyhrávají v některých kategoriích mistrovství světa v automatickém dokazování vět (CASC). Soustředíme se především na dokazování nad velkými formálními knihovnamí vět, definic a důkazů, které vznikají při verifikaci velkých matematických teorií (např. důkaz Keplerovy domněnky) a verifikaci softwaru (např. mikrokernél seL4, jazyk CakeML, atd.). ARG pracuje s řadou automatických dokazovačů (E, Vampire, Prover9, leanCoP, Satallax) a interaktivních dokazovačů (Mizar, HOL, Coq, Isabelle) v logice prvního a vyššího řádu a teorii množin. Zabýváme se i výzkumem v oblasti SAT, QBF a SMT solverů. Vyvíjíme metody a metasystémy pro kombinování deduktivních procesů s učením na různých úrovních – např. učení rezolučních kroků, výběr vhodných premis, učení strategií, tvorba domněnek, zpětnovazební smyčky mezi dokazováním a učením (reinforcement learning), překlad mezi neformální a formální matematikou, atd. ARG úzce spolupracuje s řadou partnerů v EU a v USA – U. of Innsbruck, U. of Miami, Google Research, Radboud U. Nijmegen, DHBW Stuttgart, U. of Manchester, U. of New Mexico, atd. V r. 2016 jsme založili konferenci AITP ([aitp-conference.org](http://aitp-conference.org)), které se každoročně účastní řada špičkových výzkumníků v automatickém uvažování, strojovém učení a AI.

## 2. Klíčoví výzkumníci

Dr. Josef Urban, Dr. Chad Brown, Dr. Jan Jakubův, Dr. Thibault Gauthier, Dr. Martin Suda, Dr. Mikoláš Janota, Dr. Karel Chvalovský, Prof. Robert Veroff (affiliated research professor).

## 3. Klíčové metody a technologie

- Metody:
  - Automatické vyvozování
  - Strojové učení
  - Zpracování přirozeného jazyka
- Technologie:
  - Komunikace člověk stroj
  - Internetové technologie
  - Bezpečnost a obrana

## 4. Top 3 výsledky

- Machine Learner for Automated Reasoning: v současnosti nejsilnější systém pro automatické uvažování nad velkými teoriemi, propojující odvozování a učení ve zpětnovazebních smyčkách. Několik vítězství v každoročním mistrovství světa v automatickém dokazování vět (CASC). Hlavní článek: J. Urban, G. Sutcliffe, P.

Pudlak, J. Vyskocil: MaLAREa SG1- Machine Learner for Automated Reasoning with Semantic Guidance. IJCAR 2008: 441-456.

- Hammer for Mizar (Mizar) and HOL (HolyHammer): nástroje a uživatelská prostředí používající metody automatického odvozování a strojového učení pro asistenci velkých formálních verifikačních projektů v systémech Mizar a HOL. Spolupráce na obdobných projektech pro systém Isabelle. Hlavní články: J. Urban, P. Rudnicki, G. Sutcliffe: ATP and Presentation Service for Mizar Formalizations. *J. Autom. Reasoning* 50(2): 229-241 (2013). C. Kaliszyk, J. Urban: Learning-Assisted Automated Reasoning with Flyspeck. *J. Autom. Reasoning* 53(2): 173-213 (2014).
- Reinforcement Learning Connection Prover (rICoP): první přesvědčivá implementace vedení všech kroků automatického dokazovače pomocí Monte-Carlo prohledávání vedeného postupným zaučováním (reinforcement learning). Zlepšení oproti původnímu dokazovači leanCoP po natrénování je 42% více vyřešených testovacích problémů. Hlavní článek: C. Kaliszyk, J. Urban, H. Michalewski, M. Olsak: Reinforcement Learning of Theorem Proving. *NeurIPS* 2018: 8836-8847.

## 5. Top 5 projektů

- AI4REASON - Artificial Intelligence for Large-Scale Computer-Assisted Reasoning. ERC Consolidator projekt, 2015-2020, CTU-CIIRC. PI J. Urban.
- AI & Reasoning. OPVVV projekt Excellent Teams, 2017-2022, CTU-CIIRC, ZCU, VSB. PI J. Urban.
- Automated Conjecturing in Large Theories. Google Faculty Research Award 2017. CTU-CIIRC. PI J. Urban.
- Knowledge-based Automated Reasoning. NWO Vrije Competitie, 2012-2015, RU Nijmegen. PI J. Urban.
- Automated Reasoning in Large Formal Mathematical Knowledge Bases, Marie-Curie Outgoing International Fellowship, 2006-2008, Charles University, PI J. Urban.