

## Záverečná karta projektu

Názov projektu Evidenčné číslo projektu **APVV-15-0631****Výskum vysokohodnotných cementových kompozitov za hydrotermálnych podmienok pre potenciálne využitie v hĺbkových vrtoch**Zodpovedný riešiteľ **prof. Dr. Ing. Martin T. Palou**  
Príjemca **Ústav stavebníctva a architektúry SAV**

### Názov pracoviska, na ktorom bol projekt riešený

Ústav stavebníctva a architektúry, Slovenskej akadémie vied

### Názov a štát zahraničného pracoviska, ktoré spolupracovalo pri riešení

Počas implementácie APVV, Oddelenie úzko spolupracovalo s "Centrum materiálového výskumu" z fakulty chemickej VUT Brno. Dôkazom spolupráce je nezanedbateľný počet spoločných publikácií (8-10 v CC).

### Udelené patenty/podané patentové prihlášky, vynálezy alebo úžitkové vzory, ktoré sú výsledkami projektu

1. Čistá kubická forma kryštalického analcímu a spôsob jej prípravy (patentová prihláška č. PP50038-2020) a
2. Cementová zmes na použitie v hydrotermálnych vrtoch pri teplotách medzi 200 a 300 °C (patentová prihláška č. PP 50053-2020)

### Najvýznamnejšie publikácie (knihy, články, prednášky, správy a pod.) zhrňujúce výsledky projektu – uveďte aj publikácie prijaté do tlače

<http://www.ustarch.sav.sk>, <http://www.geomat.sav.sk/>

ADC

1. Sadovský, Zoltán., Kriváček, Jozef. Influential geometric imperfections in buckling of axially compressed cylindrical shells – A novel approach. Engineering Structures 223 (2020) 111170; doi:10.1016/j.engstruct.2020.111170. (2019: 3.548 - IF, Q1 - JCR, 1.595 - SJR, Q1 - SJR). 18737323, ISSN 01410296 (APVV-15-0631) .
2. Palou, Martin T. - Kuzielová, Eva - Žemlička, Matúš - Novotný, Radoslav - Másilko, Jiří. The effect of metakaolin upon the formation of ettringite in metakaolin–lime–gypsum ternary systems. In Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 2018, vol. 133, no. 1, p. 77–86. (2.209 - IF2017). ISSN 1388-6150.
3. Kuzielová, Eva - Žemlička, Matúš - Másilko, Jiří - Palou, Martin T. Pore structure development of blended G-oil well cement submitted to hydrothermal curing conditions. In Geothermics, 2017, vol. 68, p. 86–93. ISSN 0375-6505 .
4. Kuzielová, Eva - Žemlička, Matúš - Másilko, Jiří - Palou, Martin T. Effect of additives on the performance of Dyckerhoff cement, Class G, submitted to simulated hydrothermal curing. In Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 2018, vol. 133, no. 1, p. 63-76. ISSN 1388-6150.
5. Kuzielová, Eva - Žemlička, Matúš - Novotný, Radoslav - Palou, Martin T. Simultaneous

effect of silica fume, metakaolin and ground granulated blast-furnace slag on the hydration of multicomponent cementitious binders. In *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 2019, vol. 136, iss. 4, p. 1527–1537. ISSN 1388-6150.

6. Kuzielová, Eva - Žemlička, Matúš - Novotný, Radoslav - Palou, Martin T. Middle stage of portland cement hydration influenced by different portions of silica fume, metakaolin and ground granulated blast-furnace slag. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 2019, vol. 138, iss. 6, p. 4119–4126. ISSN 1388-6150.

7. Kuzielová, Eva - Žemlička, Matúš - Másilko, Jiří - Palou, Martin T. Development of G-oil well cement phase composition during long term hydrothermal curing. *Geothermics*, 2019, vol. 80, p. 129-137. ISSN 0375-6505.

8. Palou, Martin T. - Kuzielová, Eva - Žemlička, Matúš - Tkáč, Jakub - Másilko, Jiří. Insights into the hydration of Portland cement under hydrothermal curing. In *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 2019, vol. 138, iss. 6, p. 4155–4165. ISSN 1388-6150.

9. DRAGOMIROVÁ, Janette - PALOU, Martin T. - KUZIELOVÁ, Eva - ŽEMLIČKA, Matúš - NOVOTNÝ, Radoslav - GMÉLING, Katalin. Optimization of cementitious composite for heavyweight concrete preparation using conduction calorimetry. In *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 2020, vol. 142, no. 1, p. 255-266. (2019: 2.731 - IF, Q2 - JCR, 0.415 - SJR, Q3 - SJR). ISSN 1388-6150.

10. KUZIELOVÁ, Eva - ŽEMLIČKA, Matúš - MÁSILKO, Jiří - HUDEC, Pavol - PALOU, Martin T. Influence of hydrothermal treatment parameters on the phase composition of zeolites. In *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 2020, vol. 142, p. 37-50. (2019: 2.731 - IF, Q2 - JCR, 0.415 - SJR, Q3 - SJR). ISSN 1388-6150.

11. KUZIELOVÁ, Eva - ŽEMLIČKA, Matúš - JANČA, Martin - ŠILER, Pavel - PALOU, Martin T. Later stages of Portland cement hydration influenced by different portions of silica fume, metakaolin and ground granulated blast-furnace slag. In *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 2020, vol. 142, no. 1, p. 339-348. (2019: 2.731 - IF, Q2 - JCR, 0.415 - SJR, Q3 - SJR). ISSN 1388-6150.

12. PALOU, Martin T. - BOHÁČ, Martin - KUZIELOVÁ, Eva - NOVOTNÝ, Radoslav - ŽEMLIČKA, Matúš - DRAGOMIROVÁ, Janette. Use of calorimetry and thermal analysis to assess the heat of supplementary cementitious materials during the hydration of composite cementitious binders. In *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 2020, vol. 142, no. 1, p. 97-117. (2019: 2.731 - IF, Q2 - JCR, 0.415 - SJR, Q3 - SJR). ISSN 1388-6150.

#### ADM

1. Palou, Martin T. - Kuzielová, Eva - Žemlička, Matúš - Živica, Vladimír. The influence of sodium hexametaphosphate ( $\text{Na}_6\text{P}_6\text{O}_{18}$ ) on hydration of calcium aluminate cement under hydrothermal condition. In *Procedia Engineering*, 2016, vol. 151, p. 119-126. (2015: 0.238 - SJR). ISSN 1877-705.

2. Kuzielová, Eva - Žemlička, Matúš - Bartoničková, Eva - Palou, Martin T. The correlation between porosity and mechanical properties of multicomponent systems consisting of Portland cement–slag–silica fume–metakaolin. In *Construction and Building Materials*, 2017, vol. 135, p. 306-314. (2016: 3.169 - IF, Q1 - JCR, 1.511 - SJR, Q1 - SJR). ISSN 0950-0618.

3. Koronthályová, Oľga - Holúbek, Matúš. Effect of particular material parameters on wetting process of capillary-porous material. In *AIP Conference Proceedings*, 2017, vol. 1866, article number 040021. ISSN 0094-243X.

4. Holúbek, Matúš – Koronthályová, Oľga. Comparison of TDR and X-ray method for determining moisture transport parameters. In *Energy Procedia*, 2017, vol. 132, p. 723-728. ISSN 1876-6102.

#### AFC

1. Kuzielová, Eva - Žemlička, Matúš - Palou, Martin T. Hydrothermally Cured G-oil Well Cement Blended by Ground Granulated Blast Furnace Slag and Silica Fume. In *MALTOVINY 2016: sborník konferencie [elektronický zdroj]*. - Brno : Vysoké učení technické v Brně, 2016, p. 5-12. ISBN 978-80-214-5446-0.

2. Kriváček, Jozef. MKP výpočty na modeloch so značným počtom stupňov voľnosti : linearizovaná stabilita osovo tlačенých škrupín, teplotné namáhanie hlbinných vrtov. In *INFO DNY MSC, Software : Zaječí, 12.-13. 6. 2018 [elektronický zdroj]*. - Brno, 2018, 10 s. .

3. Kriváček, Jozef. Konečno prvkové simulácie hlbinných vrtov. In *INFO DNY MSC. Software 2019 : Zaječí, 11. - 12. 6. 2019 [elektronický zdroj]*. - Brno : MSC Software, 2019, 10 s. Dostupné na internete: [https://pages.mscsoftware.com/rs/109-LAC-296/images/SAV\\_Krivacek.pdf](https://pages.mscsoftware.com/rs/109-LAC-296/images/SAV_Krivacek.pdf) (GII).

4. Palou, Martin T. - Kuzielová, Eva - Žemlička, Matúš - Dragomirová, Janette. Influence of hydrothermal curing on properties of binder based on MCC. In Maltoviny 2017: sborník konference. - Brno : Vysoké učení technické v Brně, 2017, s. 50-58. ISBN 978-80-214-5446-0.
5. Palou, Martin T. - Kuzielová, Eva - Žemlička, Matúš - Tkáč, Jakub - Živica, Vladimír. Properties of Chemically Bonded Phosphate Cramics under Hydrothermal Curing. In MALTOVINY 2016: zborník konferencie [elektronický zdroj]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2016, p. 13-20. ISBN 978-80-214-5446-0.
6. Kuzielová, Eva - Žemlička, Matúš - Másilko, Jiří - Palou, Martin T. Effect of composition on microstructure and phase development of hydrothermally cured G-Oil Well cement. In Non-Traditional Cement & Concrete VI: proceedings of the international conference. Edited by Vlastimil Bílek, Zbyněk Keršner, Hana Šimonová. - Brno: Brno University of Technology, 2017, p. 188-195. ISBN 978-80-214-5507-8.
7. Žemlička, Matúš - Kuzielová, Eva - Palou, Martin T. Study of Four-Component Binder Systems. In MALTOVINY 2016 : sborník konference [elektronický zdroj]. - Brno : Vysoké učení technické v Brně, 2016, p. 21-26. ISBN 978-80-214-5446-0.
8. Kuzielová, Eva - Žemlička, Matúš - Palou, Martin T. Influence of additives on the performance of autoclaved cement Class G. In JTACC+V4, 1st Journal of Thermal Analysis and Calorimetry Conference and 6th V4 (Joint Czech-Hungarian-Polish-Slovakian) Thermoanalytical Conference, June 6-9, 2017 / Budapest: book of abstracts [elektronický zdroj]. - Budapest: Akadémiai Kiadó, 2017, p. 137. ISBN 978-963-454-098-4.
9. Kuzielová, Eva - Žemlička, Matúš - Palou, Martin T. Performance of modified Dyckerhoff cement after simulated hydrothermal curing. In Maltoviny 2017 : sborník konference. - Brno : Vysoké učení technické v Brně, 2017, s. 19-29. ISBN 978-80-214-5446-0.
10. Kuzielová, Eva - Žemlička, Matúš - Másilko, Jiří - Palou, Martin T. Upgrading the G-oil cement by refining pore structure. In Kvalita cementu 2018 : XII. odborný seminář Výzkumného ústavu stavebních hmot, 12.- 13. 4. 2018, Mikulov. - Brno: Výzkumný ústav stavebních hmot, 2018, s. 45-53. ISBN 978-80-87397-28-2.
11. Palou, Martin T. - Kuzielová, Eva - Ježo, Ľubomír - Dragomirová, Janette. The effect of hydrothermal curing on the hydration reaction and properties of Oil-Well and special Portland cements. In ICCC 2019. 15th International Congress on the Chemistry of Cement : papers and posters proceedings. Prague, September 16-20, 2019 [elektronický zdroj]. Editor J. Gemrich. - Prague : Research Institute of Binding Materials Prague, 2019, 11 p. ISSN 2523-935X.
12. Kuzielová, Eva - Žemlička, Matúš - Másilko, Jiří - Palou, Martin T. Dependence of blended G-oil well cement phase compositions and properties on the time of hydrothermal curing. In ICCC 2019. 15th International Congress on the Chemistry of Cement: papers and posters proceedings. Prague, September 16-20, 2019 [elektronický zdroj]. Editor J. Gemrich. - Prague : Research Institute of Binding Materials Prague, 2019, 11 p. ISSN 2523-935X. .
13. Kuzielová, Eva - Žemlička, Matúš - Novotný, Radoslav - Palou, Martin T. Vplyv puzolánových a latentne hydraulických prímiesí na skoré štádium hydratácie Portlandského cementu. In Kvalita cementu 2019 : XIII. ročník odborného semináře, Výzkumný ústav stavebních hmot, 11. - 12. dubna 2019, Znojmo. - Výzkumný ústav stavebních hmot, 2019, s. 25-34. ISBN 978-80-87397-30-5.
14. Žemlička, Matúš - Kuzielová, Eva - Palou, Martin T. Priebeh hydratácie v modelovej sústave Portlandský cement - kremičitý úlet - metakaolín - vysokopecná troska. In Kvalita cementu 2019 : XIII. ročník odborného semináře, Výzkumný ústav stavebních hmot, 11. - 12. dubna 2019, Znojmo. - Výzkumný ústav stavebních hmot, 2019, s. 35-42. ISBN 978-80-87397-30-5.
15. Žemlička, Matúš - Kuzielová, Eva - Palou, Martin T. Study of hydration courses in multicomponent binder system matrixes. In ICCC 2019. 15th International Congress on the Chemistry of Cement : papers and posters proceedings. Prague, September 16-20, 2019 [elektronický zdroj]. Editor J. Gemrich. - Prague : Research Institute of Binding Materials Prague, 2019, 10 p. ISSN 2523-935X.

AFA

1. Palou, Martin T. - Kuzielová, Eva - Žemlička, Matúš. Application of thermoanalytical methods to investigate glass transformation and cement hydration. In TAS 2017 - Termoanalytický seminář : sborník příspěvků. Zodpovedný redaktor Petra Šulcová. -

Pardubice : Univerzita Pardubice, 2017, s. 9-16. ISBN 978-80-86238-71-1.

AFG

1. Žemlička, Matúš - Kuzielová, Eva - Boháč, Martin - Novotný, Radoslav - Palou, Martin T. Evaluation of temperature influence on the hydration of binary systems comprising of portland cement - metakaolin and portland cement slag. In JTACC+V4, 1st Journal of Thermal Analysis and Calorimetry Conference and 6th V4 (Joint Czech-Hungarian-Polish-Slovakian) Thermoanalytical Conference, June 6-9, 2017 / Budapest: book of abstracts [elektronický zdroj]. - Budapest : Akadémiai Kiadó, 2017, p. 140-141. ISBN 978-963-454-098-4.
2. Žemlička, Matúš - Kuzielová, Eva - Palou, Martin T. The investigation of hydration in four-component binder systems. In JTACC+V4, 1st Journal of Thermal Analysis and Calorimetry Conference and 6th V4 (Joint Czech-Hungarian-Polish-Slovakian) Thermoanalytical Conference, June 6-9, 2017 / Budapest: book of abstracts [elektronický zdroj]. - Budapest: Akadémiai Kiadó, 2017, p. 42-43. ISBN 978-963-454-098-4.
3. Palou, Martin T. - Kuzielová, Eva - Žemlička, Matúš - Novotný, Radoslav - Másilko, Jiří. The effect of metakaolin upon the formation of ettringite. In JTACC+V4, 1st Journal of Thermal Analysis and Calorimetry Conference and 6th V4 (Joint Czech-Hungarian-Polish-Slovakian) Thermoanalytical Conference, June 6-9, 2017 / Budapest: book of abstracts [elektronický zdroj]. - Budapest : Akadémiai Kiadó, 2017, p. 106-107. ISBN 978-963-454-098-4.
4. Kuzielová, Eva - Žemlička, Matúš - Másilko, Jiří - Palou, Martin T. Relationship among phase composition - pore structure - strength characteristics of hydrothermally cured cement Class G. In JTACC+V4, 1st Journal of Thermal Analysis and Calorimetry Conference and 6th V4 (Joint Czech-Hungarian-Polish-Slovakian) Thermoanalytical Conference, June 6-9, 2017 / Budapest: book of abstracts [elektronický zdroj]. Budapest: Akadémiai Kiadó, 2017, p. 136. ISBN 978-963-454-098-4.
5. Palou, Martin T. - Kuzielová, Eva - Žemlička, Matúš - Másilko, Jiří. Thermal analysis of hydration products of cements hydrothermally cured. In JTACC+V4, 1st Journal of Thermal Analysis and Calorimetry Conference and 6th V4 (Joint Czech-Hungarian-Polish-Slovakian) Thermoanalytical Conference, June 6-9, 2017 / Budapest: book of abstracts [elektronický zdroj]. - Budapest : Akadémiai Kiadó, 2017, p. 138. ISBN 978-963-454-098-4.
6. Palou, Martin T. - Kuzielová, Eva - Živica, Vladimír - Žemlička, Matúš. Transformation of calcium aluminate cement to chemically bonded phosphate ceramics under specific conditions. In ICEBMP 2016 - Ekologie a nové stavební hmoty a výrobky : abstrakty vybraných příspěvků konference ICEBMP.
7. Žemlička, Matúš - Kuzielová, Eva - Palou, Martin T. Investigation of four-component cement based systems by using thermal analysis techniques. In CCTA13 13th Conference on Calorimetry and Thermal Analysis of the Polish Society of Calorimetry and Thermal Analysis: abstracts. - Lublin : UMCS, 2018, p. 163.
8. Palou, Martin T. - Kuzielová, Eva - Žemlička, Matúš - Tkáč, Jakub - Másilko, Jiří. Insights the hydration of portland cement under hydrothermal curing. In CCTA13 13th Conference on Calorimetry and Thermal Analysis of the Polish Society of Calorimetry and Thermal Analysis : abstracts. - Lublin : UMCS, 2018, p. 126-127.
9. Palou, Martin T. - Kuzielová, Eva - Žemlička, Matúš - Ježo, Lubomír - Dragomirová, Janette. The effect of hydrothermal curing on the hydration reaction and properties of Oil-Well and special Portland cements. In ICC 2019. 15th International Congress on the Chemistry of Cement : book of abstracts. - Prague : Research Institute of Binding Materials Prague, 2019, p. 88. ISBN 978-80-906541-4-3.
10. Kuzielová, Eva - Žemlička, Matúš - Másilko, Jiří - Palou, Martin T. Dependence of blended G-oil well cement phase compositions and properties on the time of hydrothermal curing. In ICC 2019. 15th International Congress on the Chemistry of Cement : book of abstracts. - Prague : Research Institute of Binding Materials Prague, 2019, p. 146. ISBN 978-80-906541-4-3. ISSN 2523-935X.(ICC 2019 : International Congress on the Chemistry of Cement).
11. Kuzielová, Eva - Žemlička, Matúš - Másilko, Jiří - Palou, Martin T. Phase transformations in blended G-oil well cements. In 2nd Journal of Thermal Analysis and Calorimetry Conference, Budapest, Hungary, June 18-21, 2019: book of abstracts. - Hungary, 2019, p. 382-383. ISBN 978-963-454-416-6.
12. Kuzielová, Eva, Žemlička, Matúš, Jurišová, Jana, Palou, Martin. Hydrothermal preparation

and thermal stability of analcime. In CEEC-TAC5 & Medicta2019. 5th Central and Eastern European Conference on Thermal Analysis and Calorimetry (CEEC-TAC5) and 14th Mediterranean Conference on Calorimetry and Thermal Analysis (Medicta2019): book of abstracts. – Germany : Central and Eastern European Committee for Thermal Analysis and Calorimetry, 2019, p. 480. ISBN 978-3-940237-59-0.

13. Žemlička Matúš, Kuzielová Eva, Palou Martin. Preparation of analcime via hydrothermal treatment. In 2nd Journal of Thermal Analysis and Calorimetry Conference, Budapest, Hungary, June 18-21, 2019: book of abstracts. – Hungary, 2019, p. 503-504. ISBN 978-963-454-416-6.

14. Palou, Martin T. - Kuzielová, Eva - Žemlička, Matúš - Másilko, Jiří. Mechanisms of pozzolanic reaction in cement composites containing silica fume. In CCTA13 13th Conference on Calorimetry and Thermal Analysis of the Polish Society of Calorimetry and Thermal Analysis : abstracts. - Lublin: UMCS, 2018, p. 132-133.

15. Žemlička, Matúš - Kuzielová, Eva - Palou, Martin T. Study of hydration courses in multicomponent binder system matrixes. In ICCC 2019. 15th International Congress on the Chemistry of Cement : book of abstracts. - Prague : Research Institute of Binding Materials Prague, 2019, p. 147. ISBN 978-80-906541-4-3. ISSN 2523-935X.(ICCC 2019 : International Congress on the Chemistry of Cement).

16. Kuzielová, Eva - Žemlička, Matúš - Novotný, Radoslav - Palou, Martin T. Study of early hydration in four-component cement based systems. In CCTA13 13th Conference on Calorimetry and Thermal Analysis of the Polish Society of Calorimetry and Thermal Analysis: abstracts. - Lublin : UMCS, 2018, p. 162.

AFD

1. Žemlička, Matúš - Kuzielová, Eva - Palou, Martin T. Vyšetrovanie priebehu hydratácie v štvorzložkových zmesových systémoch v sústave Portlanský cement - prímеси = Investigation of hydration course in quaternary Portland cement - supplementary cementitious materials blended systems. In Cement 2018 : zborník prednášok z konferencie inovatívne technológie a trendy vo výrobe stavebných látok - innovative technologies and trends in the production of building materials. - Trenčín : CEMDESIGN, 2018, s. 119-128. ISBN 978-80-973167-0-9.

2. Palou, Martin T. - Kuzielová, Eva - Žemlička, Matúš - Živica, Vladimír - Tkacz, Jakub. Vývoj cementových kompozitov pre využitie v náročných podmienkach hĺbkových geotermálnych a ropných vrtov = Development of cementitious materials for application under severe conditions in oil and geothermal wells. In Cement 2018: zborník prednášok z konferencie inovatívne technológie a trendy vo výrobe stavebných látok - innovative technologies and trends in the production of building materials. - Trenčín : CEMDESIGN, 2018, s. 15-27. ISBN 978-80-973167-0-9.

3. Kuzielová Eva, Žemlička Matúš, Jurišová Jana, Hudec Pavol. Vplyv parametrov hydrotermálneho spracovania na prípravu analcímu. In Prírodné a syntetické zeolity na Slovensku: zborník príspevkov, 8. odborný seminár, Slovenská spoločnosť priemyselnej chémie pri FCHPT STU, Bratislava, 20.6.2019 [elektronický zdroj]. Recenzenti: P. Hudec, V. Jorík, M. Králik, G. Čík. – Bratislava : FCHPT STU Bratislava, 2019, s. 71-82. ISBN 978-80-8208-013-4 20.6.2019.

4. Kuzielová, Eva - Žemlička, Matúš - Novotný, Radoslav - Palou, Martin T. Synergický efekt kremičitého úletu, metakaolínu a jemne granulovanej vysokopecnej trosky na skoré štádium hydratácie Portlanského cementu = Synergic effect of silica fume, metakaolin and ground granulated blast-furnace slag on early hydration of Portland cement. In Cement 2018: zborník prednášok z konferencie inovatívne technológie a trendy vo výrobe stavebných látok - innovative technologies and trends in the production of building materials. - Trenčín : CEMDESIGN, 2018, s. 106-118. ISBN 978-80-973167-0-9.

### **Uplatnenie výsledkov projektu**

Uplatnenie výsledkov v praxi zatiaľ sa nepodarilo, ale na základe dosiahnutých výsledkov boli podané

2 patentové prihlášky: (1) Čistá kubická forma kryštalického analcímu a spôsob jej prípravy (patentová prihláška č. PP50038-2020) a (2) Cementová zmes na použitie v hydrotermálnych vrtoch pri teplotách medzi 200 a 300 °C (patentová prihláška č. PP 50053-2020)

1 schvalený APVV projekt: APVV-19-0490 Výskum a vývoj mnohozložkových cementových

zmesí pre špeciálne konštrukčné materiály  
2 VEGA projekty: (1) 2/0032/21 Štúdium degradácie viaczložkových cementových materiálov v dôsledku uhličitej korózie v podmienkach simulujúcich geotermálne vrty a (2) 2/0017/21 Materiálové zloženie a vlastnosti samozhutniteľných ťažkých betónov.

### **Súhrn výsledkov riešenia projektu a naplnenia cieľov projektu v slovenskom jazyku (max. 20 riadkov)**

Správa o projekte APVV -15-0631 je v súlade so stanovenými cieľmi rozdelená na tri hlavné časti: (1) Numerická simulácia podmienok hlbokých geotermálnych vrtov a vypracovanie rôznych variantov konečno-prvkových modelov konštrukcií hlbinných vrtov, (2) Vývoj a štúdium vysokohodnotných anorganických spojív a (3) Prezentácia a popularizácia výsledkov. Správa predstavuje zhrnutie výsledkov v súlade s cieľmi definovanými v anotácii. Je potrebné zdôrazniť, že výsledky projektu významne prehĺbili poznatky o hydratačných reakciách, kinetike a mechanizmoch hydratácie cementových spojív za hydrotermálnych podmienok.

V prvej časti implementácie projektu boli postupne vyvinuté a vykonané viaceré numerické simulácie podmienok v hlbokých vrtoch za účelom získania zjednodušeného 3D modelu, ktorý riešil situáciu pozdĺž celej výšky (hlbky) vrtu. Takýto model umožňuje včleniť do výpočtov meniacu sa teplotu geologického podložja, zloženie geotermálnej vody a tepelnú vodivosť. Vďaka spracovaniu vstupov a výstupov numerických simulácií bolo možné v korelácii s experimentálnymi údajmi vyvinúť vlastné inovované programy, ktoré sú spolu s kompletnými výstupmi k dispozícii na riešiteľskom pracovisku.

Druhá časť projektu sa zaoberala vývojom a štúdiom vysokohodnotných anorganických spojív, ktoré by svojimi vlastnosťami prevyšovali v geotermálnych vrtoch bežne používané komerčné cementové spojivá. Experimentálne získané výsledky boli porovnávané s výsledkami získanými z numerických simulácií vrtov. Kľúčovou úlohou cementovania v geotermálnych vrtoch je podpora a stabilizácia ocelových pažníc, rovnako ako poskytnutie izolácie pred vysoko korozívnym prostredím.

Navrhované a overované boli viaczložkové cementové kompozity pripravené čiastočnou náhradou štandardného portlandského cementu pevnostnej triedy 52,5 R, resp. komerčného cementu triedy G (od viacerých dodávateľov) rôznymi prímiesami (vysokopečná troska, kremičitý úlet, metakaolín). Laboratórnym autoklávom boli reakciu medzi polyfosfátom sodným a hlinitanovým cementom úspešne syntetizované chemicky viazané fosfátové keramické spojivá (hydroxyapatit). Vedecké ciele boli zamerané na určenie mechanizmu hydratačných procesov vedúceho k tvorbe keramických väzieb. Hydroxyapatit s vyššou tepelnou stabilitou (do 1 000 ° C bez rozkladu), by mal pevne spojiť ocelové pažnice a poskytnúť lepšiu ochranu ako bežný tamponážny cement. Hydroxyapatit je taktiež známou vynikajúcou biokeramikou.

Zeolitické materiály na báze analcímu s vyššou tepelnou stabilitou ako hydratačné produkty komerčných tamponážnych cementov sa pripravili transformáciou syntetizovaných geopolymérov za definovaných podmienok hydrotermálneho ošetrovania. Zeolitické materiály majú ďalšie potenciálne využitie v poľnohospodárstve, ochrane životného prostredia, chemickom priemysle, na zmäkčovanie vody, separáciu rádioizotopov, čistenie odpadových vôd a pod.

Počas celej doby riešenia projektu boli jeho výsledky prezentované formou príspevkov vo vedeckých, a to predovšetkým karentovaných zahraničných časopisoch. Riešitelia projektu sa zúčastnili mnohých konferencií, na ktorých prezentovali dosiahnuté výsledky formou prednášok alebo posterov.

V roku 2018 bola vytvorená webová stránka ([www.geomat.sav.sk](http://www.geomat.sav.sk)), ktorá slúži na zverejňovanie a propagovanie výsledkov projektu. Stránka je dostupná aj cez internú linku SAV a informácie na nej zverejnené sú pravidelne aktualizované.

V roku 2020 boli na základe výsledkov získaných v projekte podané dva patenty.

Študenti zo Slovenskej technickej univerzity (Stavebnej fakulty a Fakulty chemickej a potravinárskej technológie) boli našimi stálymi hosťami, pretože dvaja riešitelia sa aktívne zúčastňujú pedagogického procesu na tejto univerzite. S témou projektu súviseli laboratórne cvičenia, semináre, bakalárske projekty, diplomové práce a prednášky.

V rámci programu SAV Týždeň vedy a techniky sme sa počas dňa otvorených dverí v rokoch 2017 a 2020 na pracovisku ÚSTARCHE SAV zamerali na prezentáciu laboratórií, popularizáciu výsledkov a sprístupnenie našej práce laickej verejnosti.

<https://vat.pravda.sk/clovek/clanok/568195-nove-betony-mozu-prispieť-k-ochrane-zivotneho-prostredia/>  
[https://www.sav.sk/index.php?lang=sk&doc=services-news&source\\_no=20&news\\_no=9126](https://www.sav.sk/index.php?lang=sk&doc=services-news&source_no=20&news_no=9126)  
Realizácia projektov bola v poslednom období riešenia narušená pandémiou spôsobenou koronavírusom. Obmedzená bola účasť na medzinárodných konferenciách, seminároch aj workshopoch. Viaceré činnosti plánované v projekte boli odložené alebo zrušené. Vďaka rozhodnutia APVV bol rozpočet pridelený pre tieto činnosti preúčtovaný do kapitoly Materiály a služby.

### **Súhrn výsledkov riešenia projektu a naplnenia cieľov projektu v anglickom jazyku (max. 20 riadkov)**

The report of the project APVV -15-0631 granted from July 2016 to November 2020 can be divided into three main parts following the defined objectives: (1) Numerical simulation of deep geothermal wells and elaboration of various variants of Finite-Element Models, (2) Development and Study of High-Performance Inorganic Binders and – (3) presentation and popularization of results. The report presents a summary of the results in conformity with the defined objectives in the annotation. It should be highlighted that significant progress has been made towards deepening our knowledge on the hydration reactions, kinetics and mechanisms of cement under hydrothermal conditions.

In the first part of the project implementation, several numerical simulations of conditions in deep borehole structures were gradually developed and performed to obtain a simplified 3D model based on Finite-Element Method (FEM) to predict the performances of cement slurry in the bore well as the function of well depth and temperature, geothermal water and thermal conductivity of hardened cement paste.

Thanks to the processing of inputs and outputs of numerical simulations, in correlation with experimental data, it was possible to develop our upgraded programs, which are available together with complete outputs at the researcher's workplace.

The second part of the project dealt with the development and study of High-Performance Inorganic Binders, which properties would exceed those of commercial cement binders commonly used in geothermal wells. The experimentally obtained results were compared with the results obtained from numerical simulations of wells. The key role of cementation in geothermal wells is to support and stabilize steel casings, as well as to protect them against the highly corrosive environments.

Multi-component cement composites using standard Portland cement of strength class 52.5 R and Supplementary Cementitious Materials (Blast Furnace Slag, Silica Fume, Metakaolin) with different levels of substitutions were developed and cured in laboratory autoclave simulating the hydrothermal conditions in deep borehole structures (up to 220 °C and 2 MPa). In parallel, commercial-grade G-Oil Well cement (from several suppliers) was cured under the same conditions. These commercial G-Oil types of cement were then modified with various additions of Supplementary Cementitious Materials to perform their properties under the hard hydrothermal condition in deep bore wells.

The laboratory autoclave has been successfully used in the synthesis of chemically phosphate bond ceramics (CPCB) by hydration reaction of High Alumina Cement in the presence of Poly-phosphate sodium. The scientific objectives aimed at determining the mechanism of hydration processes leading to the formation of ceramic bonds of High-Performance Cementitious Composites in the hydrothermal condition of bore wells leading to the formation of hydroxyapatite. It is expected that hydroxyapatite with thermal stability (up to 1000 °C without decomposition), a ceramic product will firmly bond the casing steel and provide better protection than ordinary G-Oil Well cement. It is commonly known that hydroxyapatite is an excellent bioceramics.

Zeolitic materials analcime with higher thermal stability than ordinary hydration products were prepared by the transformation of synthesized geopolymers under the defined hydrothermal curing conditions. Zeolitic materials have versatile applications in the environmental industry, agriculture and the fabrication of detergent.

The results of the project APVV-15-0631 were continuously published in reviewed papers belonging to different categories (CC, WOS, SCOPUS etc.). All these results are reported in our website [www.geomat.sav.sk](http://www.geomat.sav.sk).

The researchers of the project participated in many conferences, where they presented the achieved results as lectures (invited, ordinary) or posters.

In 2020, based on the results obtained in the project, two patent proposals were submitted for approval.

In 2018, a website was created ([www.geomat.sav.sk](http://www.geomat.sav.sk)), which is used to publish and promote the results of the project. The website is also available via the SAS's internal line and the information published on the website is regularly updated.

The results of the project were presented during the event "Science and Technology Week of SAS" from 2017 to 2020 at the ÚSTARĀH SAS workplace.

Students from Slovak University of Technology (Faculty of Civil Engineering and Faculty of Chemical and Food Technology) were our permanent guests because two of solvers participate actively to the pedagogical process at this University. Laboratory practices, seminars, bachelor projects, diploma works and lectures were related to the topic of the project.

The popularization of our results for the broad public are published in the Newspaper <https://vat.pravda.sk/clovek/clanok/568195-nove-betony-mozu-prispiet-k-ochrane-zivotneho-prostredia/>

or on website [https://www.sav.sk/index.php?lang=sk&doc=services-news&source\\_no=20&news\\_no=9126](https://www.sav.sk/index.php?lang=sk&doc=services-news&source_no=20&news_no=9126).

The implementation of projects has been perturbed by the pandemic situation caused by a coronavirus in the last implementation period. Therefore, the participation in the international conferences, seminars and workshops was greatly affected. Many events planned within the currently ongoing project were postponed or cancelled. Thanks to APVV direction, the budget allocated to the given events was budgeted to chapter Materials and Services.