ZAVOD ZA GRADBENIŠTVO SLOVENIJE
SLOVENIAN NATIONAL BUILDING AND CIVIL ENGINEERING INSTITUTE

Alkalijska aktivacija,
ena izmed zelenih poti gradbeništva

Vilma Ducman, Barbara Horvat, Majda Pavlin, Lea Žibret, Sara Tominc

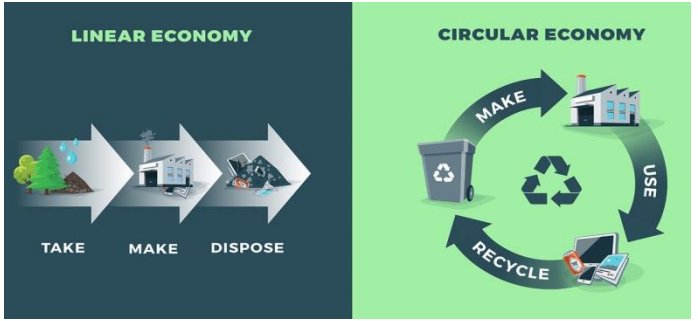
[1] https://www.statista.com/
[2] https://infinitylearn.com
[3] https://www.sciencealert.com/

Očitki človeštvu

Premalo krožnosti, preveč linearnosti!!!

- Rast količine odpadkov [1]:
  - Do **2050** povečanje trdih odpadkov za 70%, tj. na **$3.4 \cdot 10^9$ ton**,
  - Manj kot **20%** je recikliranega,
  - Ni videti zmanjševanja količine odpadkov.
  - Odlaganje nevarnih odpadkov na odprta odlagališča v državah v “razvoju”,
  - Večje količine odpadkov v “naprednih” državah, a tudi večje zavedanje o problematiki in posledično bolj ustrezno ravnanje z odpadki.
- Zmanjševanje količin naravnih surovin [2]:
  - **Neobnovljivi viri** (rudarjenje: minerali in nafta),
  - Obnovljivi viri, ki se jih hitreje “porabljajo” kot proizvajajo (krčenje godov…),
  - Obnovljivi viri, ki so odvisni od vremena (klimatske spremembe).

➢ NEZDRAVO, NERACIONALNO, KRATKOROČNO GOSPODARJENJE!


















Hunger stone, CZ, photo: Michal Cizek/AFP/Getty Images [3]





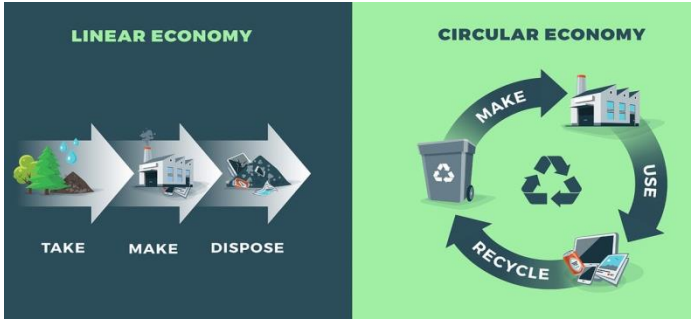


[1] https://www.statista.com/
[4] https://www.esdaw.eu/
[5] https://www.currentaffairs.org/
[6] https://thesoutherneronline.com/

Razlogi za globalni neuspeh

- Povečanje povpraševanja množice [1]:
  - Rast prebivalstva (številčna),
  - Urbanizacija,
  - Ekonomska rast,
  - Nakupovalne navade potrošnikov,
  - Dvig “standarda” (na račun okolja, zdravja in prihodnosti zanamcev?, brez zdrave osebnostne rasti, etike in morale posameznikov in družbe)

- Pohlep posameznikov [4, 5, 6]:
  - **Nezdrav kapitalizem** (čim manj vložka, čim več zaslužka; profit nad družbeno koristnim, naravnimi viri, okoljem)
  - Slaba kvaliteta, nevzdržljivi, hitro kvarljivi materiali/proizvodi, pravica do popravila,
  - Ceneje kupiti novo, kot pa popraviti,
  - Neizdelava rezervnih delov,
  - Iskanje bližnjic in lukenj v sistemih,
  - Selitev proizvodnje, kjer ni prave regulative glede varovanja okolja…


















Hunger stone, CZ, photo: Michal Cizek/AFP/Getty Images [3]



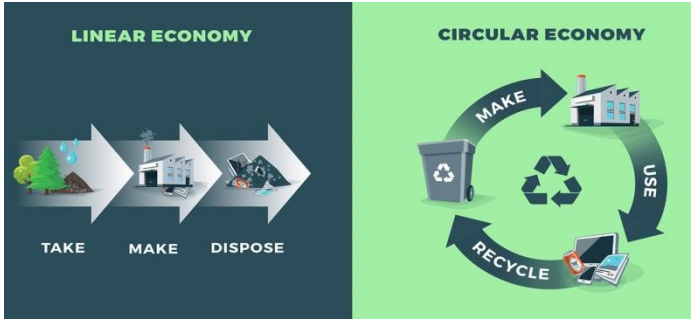




[7] https://www.colorado.edu/
[8] https://www.tuvsud.com

Rešitve (x-krat posameznik = množica (7%) → spremembe)

- n-krat R [7, 8]:
  - Rethink: sprejmi zero-waste način življenja,
  - Refuse: ne kupuj/uporabi nečesa, kar bi predstavljalo odpadek; upri se starim navadam (najtežji korak h krožnemu gospodarstvu),
  - Reduce: brez potrate; ne ustvarjaj odpadkov, če jih ni potrebno,
  - Reuse: ponovno uporabi, deli, prodaj ali podari še vedno delujoče dele,
  - Repair: raje popravi, kot pa vrži stran ali kupi novo,
  - Refurbish: raje obnovi/prenovi stavbo, kot pa podri in zgradi znova, podaljšaj ji življensko dobo,
  - Re-gift: darilo, ki je zate “neuporabno”, ga podari nekomu, ki mu bo prišlo prav,
  - Rot: kompostiraj vse, kar se da; sicer pa ločuj odpadke,
  - Recover: pridobivanje surovin iz odpadkov, sploh “redkih” elementov,
  - Recycle: ponovno v isti izdelek, ali v izdelek z dodano vrednostjo (upcycle), ali pa v izdelek z nižjo vrednostjo (downcycle),
  - RRRRRRRRRRRRRRRR…
  - **Reset**: ponastavitev celotne družbe (z vzgledom in izobraževanji že v vrtcih).


















Hunger stone, CZ, photo: Michal Cizek/AFP/Getty Images [3]





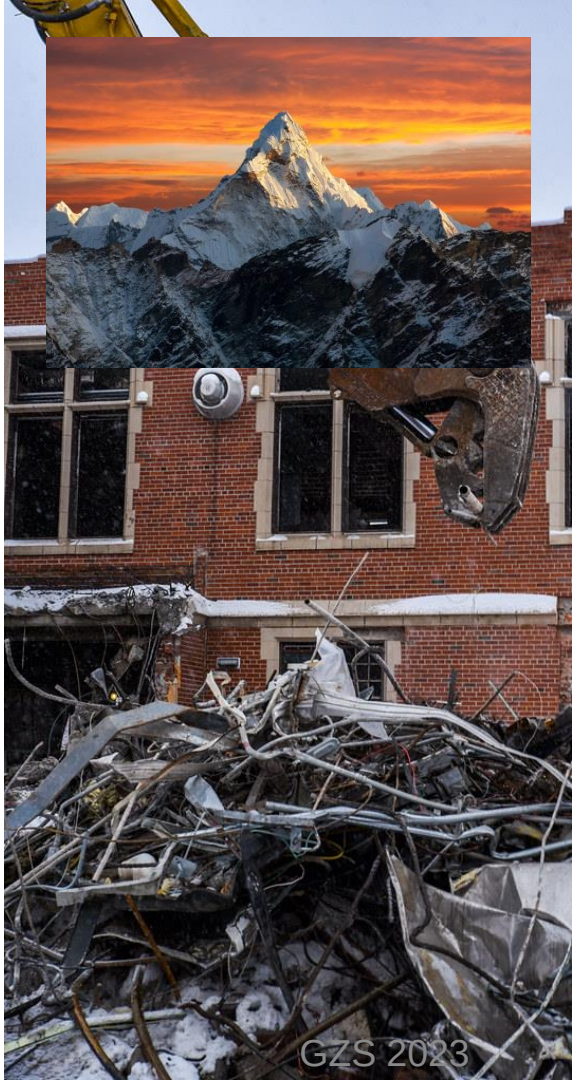


[9] https://www.bigrentz.com/blog/construction-waste-statistics
[10] https://www.bbc.com/future/article/20211215-the-buildings-made-from-rubbish
[11] https://doi.org/10.1016/B978-0-12-381475-3.10015-4

Gradbeništvo

Očitki [9, 10, 11]:

- Približno polovica vseh surovin se uporabi v gradbeništvu, $100 \cdot 10^9$ t na dan, kot 2/3 mase Mont Everesta,
- Globalna letna količina odpadkov iz gradbeništva je ocenjena na $2{,}2 \cdot 10^9$ t (do 2025), 1/3 vseh svetovnih odpadkov,
- $450 \cdot 10^6$ t od v EU letno, 75% konča na odlagališču, izjeme so Nemčija, Nizozemska… kjer je 80% recikliranega (2011),
- Med 2005-2018 je količina odpadkov rastla 10x hitreje, kot pa med leti 1990-2005,
- Do 30% materiala, ki ga pripeljejo na gradbišče, lahko konča kot odpadek že na samem začetku,
- Več kot 75% gradbenega materiala (les, suhomontažne/mavčne plošče, asfaltne skodle-”strešnik” opeka in glina) konča na odlagališču,
- Rušenje cest in mostov prinese 43% več odpadkov kot pa rušenje stavb,
- Od 50000 porušenih stavb je bilo 47% iz razloga narediti prostor novim gradnjam (2016, Tampere UNI),
- Za 40% vsega CO_2 izpusta je krivo gradbeništvo (2-3% letala),
- …



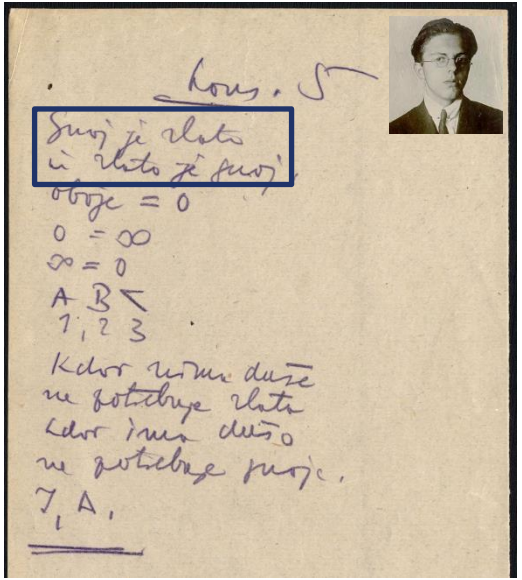
[9] https://www.bigrentz.com/blog/construction-waste-statistics
[10] https://www.bbc.com/future/article/20211215-the-buildings-made-from-rubbish
[12] https://www.fastcompany.com/90721680/how-one-nyc-construction-company-saved-96-of-its-waste-from-the-landfill

Gradbeništvo



This 'waste house' at the University of Brighton was built using over 90% waste materials (Credit: Duncan Baker-Brown)

Priložnosti [9, 10, 12]: Srečko Kosovel, Kons 5


Kons. 5
Svoj je zlato
in zlato je svoj
Ubije = 0
0 = ∞
∞ = 0
A B <
1, 2 3
Kdor nima duše
ne potrebuje zlata
Kdor ima duša
ne potrebuje svoje.
J. A.

- 175000 novih služb iz naslova projektov recikliranja v gradbeništvu (2016, ZDA),
- Službe za reciklažo in ponovno uporabo zaposlujejo 9x več ljudi kot službe, ki se ukvarjajo z odlaganjem odpadkov,
- Globalno je vsako leto recikliranega 650 · 10^6 t jekla,
- 98% recikliranega jekla iz gradbeništva se uporabi izven gradbeništva,
- Recikliranje zmanjša potrebo po širjenju prostora namenjenega odlagališčem,
- Reklamirajmo uspešne zgodbe:
  - Gradbeno podjetje, ki je uspelo kar 96% odpadka reciklirati, ponovno uporabiti,
  - Hiša iz 90% odpadnega materiala,
  - Streha za avtobusno postajo iz reciklirane plastike (zamaškov),
  - …

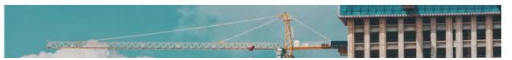
*Raje uporabimo, kar smo **že** pridobili,*
kakor pa da pridobimo novo…


'Waste' plastic cups are being turned into bus shelter roofs in Italy (Credit: Folke Kobberling/Martin Kaltwasser)

02-15-22

How one NYC construction company saved 96% of its waste from the landfill

Construction sends millions of tons of waste to landfills every year. CNY Group is trying to recycle it instead.



For a two-tower, 729-unit residential project called the Crossing at Jamaica Station, the company found it was able to recycle, reduce, or reuse 93% of the material that might otherwise have gone to a landfill. "That equated to over 5,600 tons of material," Colao says. For a 405-unit residential building in Queens called Halletts Point, the company's rate hit 96%.

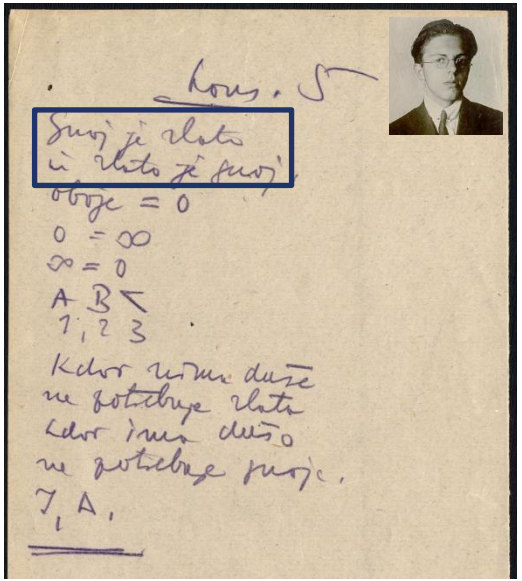

[Photos: Sherry H. Bowen Photography/Getty Images, C Dustin Klimesh]

Želje v gradbeništvu

- **Spremeniti gnoj v zlato!**
- **Uporabiti čim več gnoja!**
- **Ustvariti čim manj novega gnoja!**
- **Pa uporabiti tudi novi gnoj!**

- **Resno:**
  - **Uporabiti sekundarne surovine namesto naravnih surovin**
  - Z njimi doseči enako dobre ali boljše lastnosti kot s konvencionalnimi materiali na tržišču sedaj,
  - Obstojne, z dolgo življensko dobo, varne okolju itd.
  - *Zadaj je potrebno veliko osnovnih-bazičnih raziskav, razumevanja kemije in fizike…*
  - Znižati ogljični odtis, tudi z zmanjšanjem porabe energije.

Spremeniti miselnost ljudi…



Naš prispevek k boljšemu jutri

- **Alternativa** cementom, malti in keramiki?
  - Iz naravnih surovin (z “dodatki”),
  - Potrebne so visoke teperature.
- Alkalijsko aktivirani materiali?
  - Iz odpadkov (lahko tudi iz naravnih surovin),
  - Pri temperaturah pod 100 °C.
- Alkalijsko aktivirane pene?
  - Iz odpadkov (lahko tudi iz naravnih surovin),
  - Z dodatkom penilcev,
  - Pri temperaturah pod 100 °C.

Ko bi le bilo vse tako enostavno…

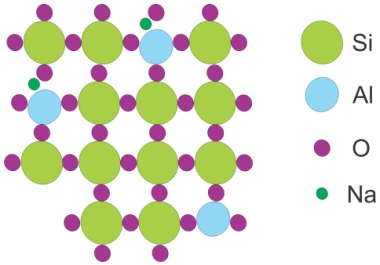


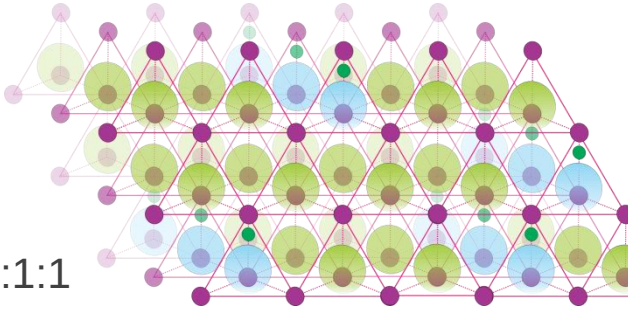


[13] Duxson, P. et al. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects 269, 47–58 (2005)
[14] Horvat, B.; Ducman, V. Materials: Potential of Green Ceramics Waste for Alkali Activated Foams, 30 (2019)

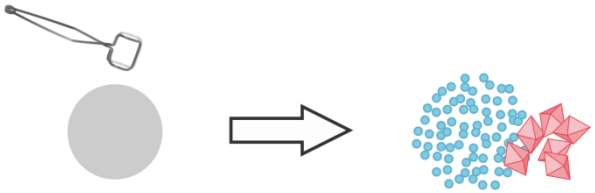
Alkalijska aktivacija

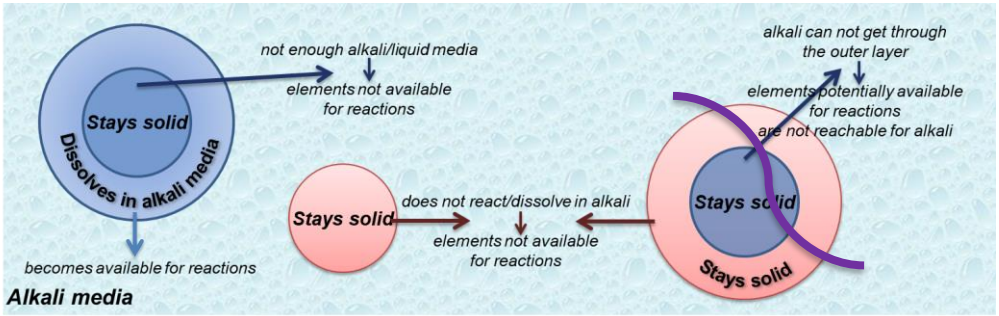
- **Odpadek** (sekundarna surovina), aktivirana z alkalijo (pH>7), v vodnem mediju:
  - Dovolj Si in Al v amorfni snovi,
  - Ne preveč elelemtov v 1st in 2nd skupini PS,
  - Praškast ali vsaj lahek za mletje,
  - Idealno molsko končno razmerje v ASN: Si:Al:1st (2nd) = 1.9:1:1 (1/2) [13,14]





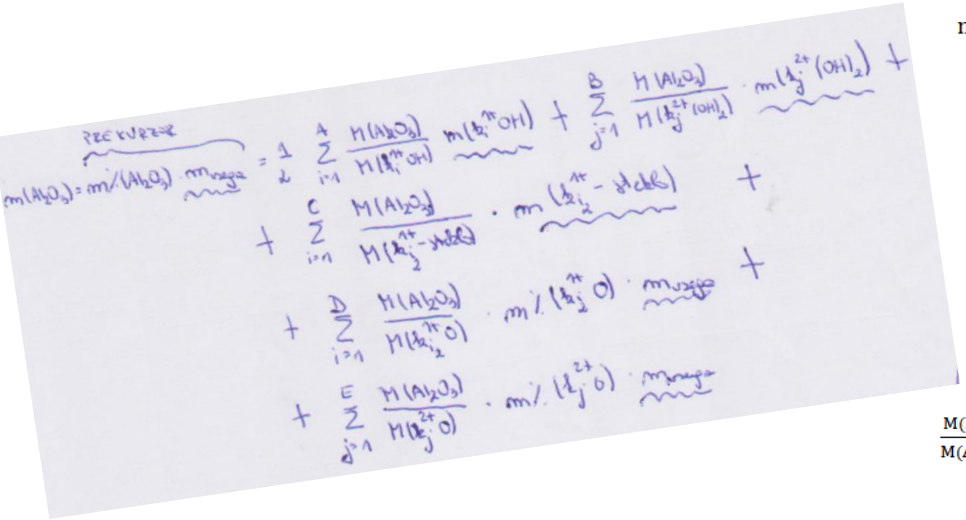
$$M_n[-(Si-O)_z-Al-O]_n \cdot wH_2O$$





Priprava – teorija

- **LOI: žaroizguba, določitev organske snovi**
- **XRF: celotna kemija (elementarna sestava)**
- **XRD: mineraloška sestava**
- **XRF-XRD: sestava amorfne snovi**



$$n_{Si} : n_{Al} = \alpha_1 = 1.9, \tag{1}$$

$$n_{Cation^{1+}} : n_{Al} = \alpha_2 = 1, \tag{2}$$

$$\frac{1}{2} n_{Cation^{2+}} : n_{Al} = \alpha_2 = 1, \tag{3}$$

$$m_{\%p}{}^{XRF}(A) = x \cdot m_{\%p}{}^{XRF}(A_xO_y) \cdot \frac{M(A)}{M(A_xO_y)}, \tag{4}$$

$$m_{\%p}{}^{XRD}(B) = \sum_{minerals\ "B"} z \cdot m_{\%p}{}^{XRD}(B_z \ldots) \cdot \frac{M(B)}{M(B_z \ldots)}, \tag{5}$$

$$m_{\%p}{}^{amorphous}(A) = m_{\%p}{}^{XRF}(A) - m_{\%p}{}^{XRD}(A), \tag{6}$$

$$m_{Si_{add}} = \frac{m_0}{100} \cdot \left(\alpha_1 \cdot m_{\%p}(Al) \cdot \frac{M(Si)}{M(Al)} - m_{\%p}(Si) \right) = \begin{cases} \text{true, if} > 0\text{; do not add Al} \\ 0, \text{ if} = 0\text{; do not add Al} \\ 0, \text{ if} < 0\text{; add Al} \end{cases}, \tag{7}$$

$$m_{Al_{add}} = \frac{m_0}{100} \cdot \left(\frac{1}{\alpha_1} \cdot m_{\%p}(Si) \cdot \frac{M(Al)}{M(Si)} - m_{\%p}(Al) \right), \tag{8}$$

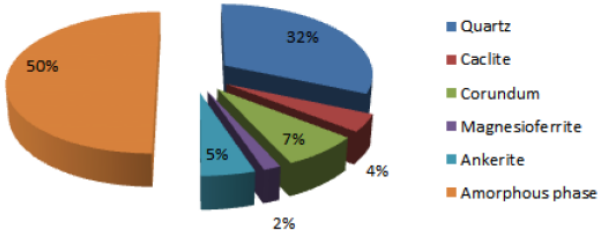
$$m_{Na_{add}} = \frac{M(Na)}{M(Al)} \cdot \left(\frac{m_0}{100} \cdot m_{\%p}(Al) + m_{Al_{add}} \right) \cdot \alpha_2 - \frac{m_0}{100} \cdot \left[\sum_{Cation^{1+}} \left(\frac{M(Na)}{M(Cation^{1+})} \cdot m_{\%p}(Cation^{1+}) \right) + \sum_{Cation^{2+}} \left(2 \cdot \frac{M(Na)}{M(Cation^{2+})} \cdot m_{\%p}(Cation^{2+}) \right) \right], \tag{9}$$

$$m_{K_{add}} = \frac{M(K)}{M(Al)} \cdot \left(\frac{m_0}{100} \cdot m_{\%p}(Al) + m_{Al_{add}} \right) \cdot \alpha_2 - \frac{M(K)}{M(Na)} \cdot m_{Na_{add}} - \frac{m_0}{100} \cdot \left[\sum_{Cation^{1+}} \left(\frac{M(K)}{M(Cation^{1+})} \cdot m_{\%p}(Cation^{1+}) \right) + \sum_{Cation^{2+}} \left(2 \cdot \frac{M(K)}{M(Cation^{2+})} \cdot m_{\%p}(Cation^{2+}) \right) \right]. \tag{10}$$

Priprava – teorija

- LOI: žaroizguba, določitev organske snovi
- XRF: celotna kemija (elementarna sestava)
- XRD: mineraloška sestava
- XRF-XRD: sestava amorfne snovi

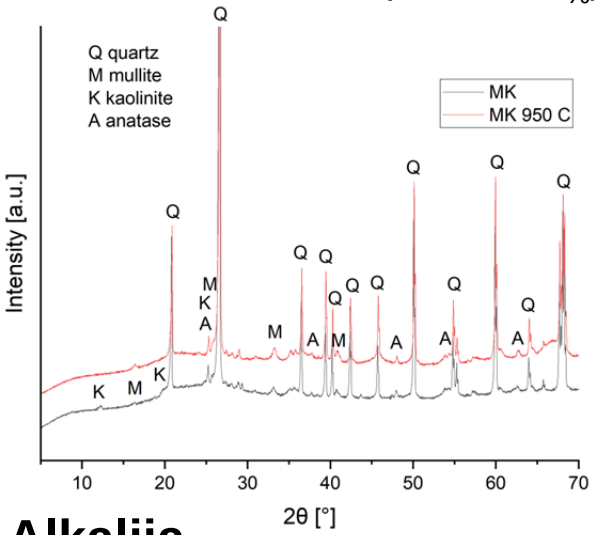
Elements [m%]	Na	K	Cs	Mg	Ca	Sr	Ba	Al	Si
XRF	0.3	3.7	0	0.9	2.4	0.02	0.4	12.2	28.8
XRD	0	0	0	0.7	2.4	0	0	4.02	14.8
XRF-XRD	0.3	3.7	0	0.2	0	0.02	0.4	8.2	14.0



Precursor (s)	Useful Material for ASN in Precursor (without/with O)	Mass Ratio [g] NaOH (s)	Na- Water Glass (l)	ASN (Maximal Value)	Amount of Substance Ratio in ASN 1st Group	Al	Si
13.3/26.1 (26.1 m%/52.3 m%)		0	0	26.1	0.3	1	1.6
		Mixture ζ_0					
		0	25	36.2	1.2	1	2.4
		0	30	38.2	1.4	1	2.5
		0	35	40.2	1.6	1	2.7
		0	40	42.2	1.8	1	2.8
		0	45	44.2	2	1	3
		0	50	46.2	2.1	1	3.1
		Mixture ζ_2					
		2	9	30.9	1	1	1.9
		Mixture ζ_4					
		2	10	31.3	1	1	1.9
		2.4	12	32.3	1.1	1	2
		2.8	14	33.4	1.3	1	2.1
		3.2	16	34.4	1.4	1	2.1
		3.6	18	35.4	1.6	1	2.2
		4	20	36.5	1.7	1	2.2
		Mixture ζ_5					
		5	22.5	38	2	1	2.3

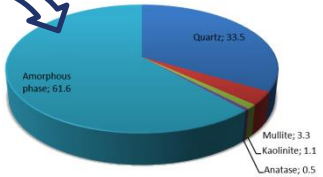
Obvladovanje kemije

- **Metakaolin**
  - XRF: elementi (ne lahki)
  - XRD: minerais (nad ~1 $V_{\%}$)



Oxides [m%]	SiO_2	Al_2O_3	Na_2O	K_2O	MgO	CaO	TiO_2	Fe_2O_3	$LOI^{550\,°C}$	$LOI^{950\,°C}$
XRF	69.46	25.58	0.29	0.18	0.17	0.48	1.13	2.32	1.25	0.77

Minerals [m%]	Quartz	Mullite	Kaolinite	Anatase	Amorphous phase
XRD	33.5	3.3	1.1	0.5	61.6



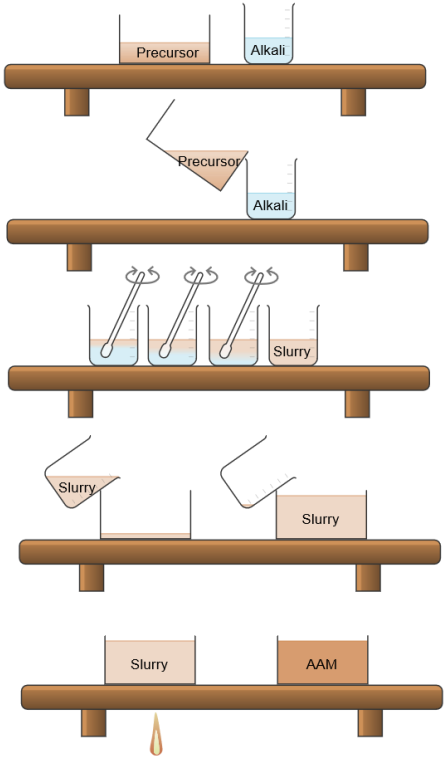
Elements [m%]	Si	Al	Na	K	Mg	Ca
XRF	32.41	13.54	0.21	0.15	0.10	0.35
XRD	16.20	1.58	0	0	0	0
XRF-XRD	16.21	11.96	0.21	0.15	0.10	0.35

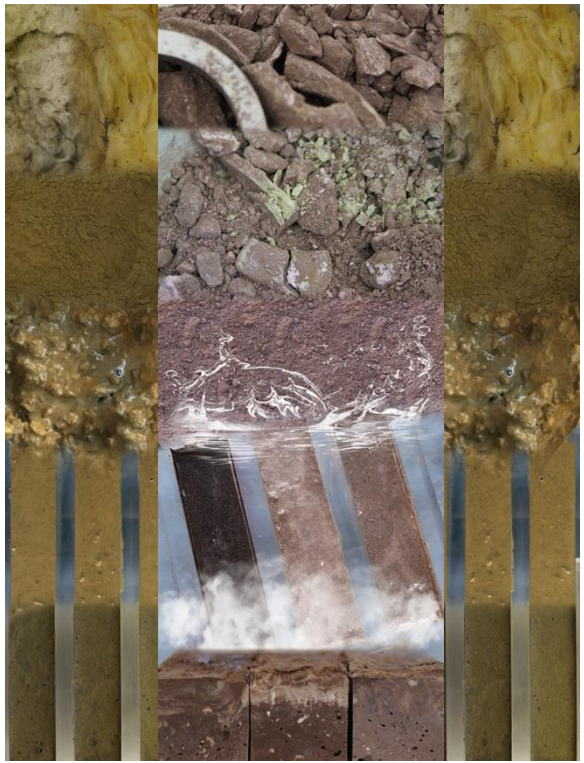


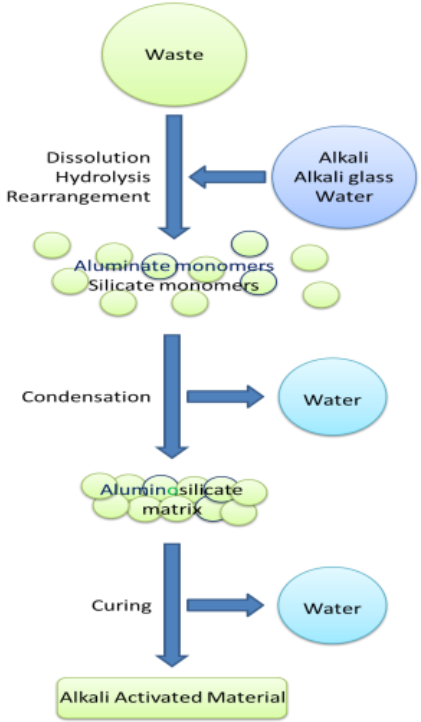
Ciljana receptura: Si:Al = 1.9:1 ($n_{\%}$)
Izbrana receptura: MK:Geosil=1:0.66 ($m_{\%}$)
Si:Al:1st skupina:2nd skupina=1.99:1:0.84:0.03 ($n_{\%}$)

- **Alkalija**
  - Geosil (Na-vodno steklo, Na-silikat): H_2O (55.6%), SiO_2 (27.5%), Na_2O (16.9%)

Priprava - laboratorij





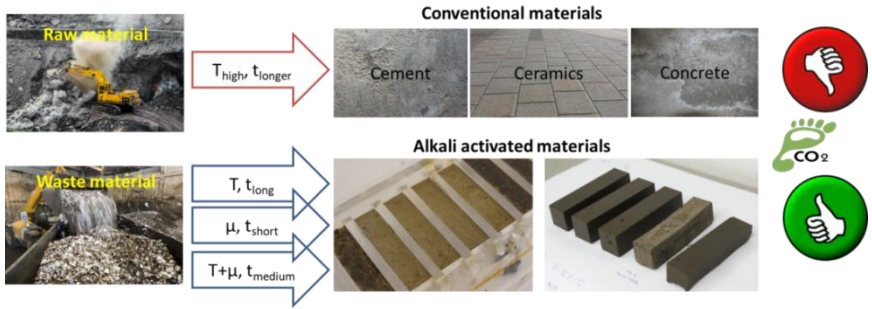


Priprava - nega

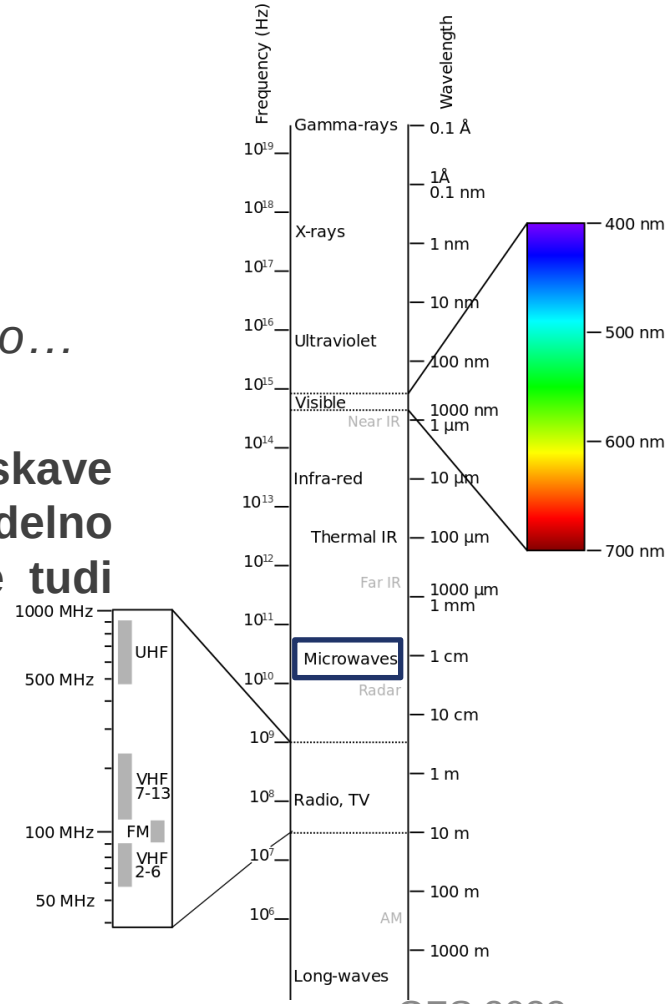
- **Površinsko gretje: standardni sušilniki**
- **Volumetrično gretje: mikrovalovna pečica**

Ko bi le bilo vse tako enostavno…

- **Ni vsaka mikrovalovna pečica ustezna za raziskave (industrijo) → veliko znanstvanih člankov je le delno uporabnih zaradi poznavanja zgolj materialov in ne tudi metod**

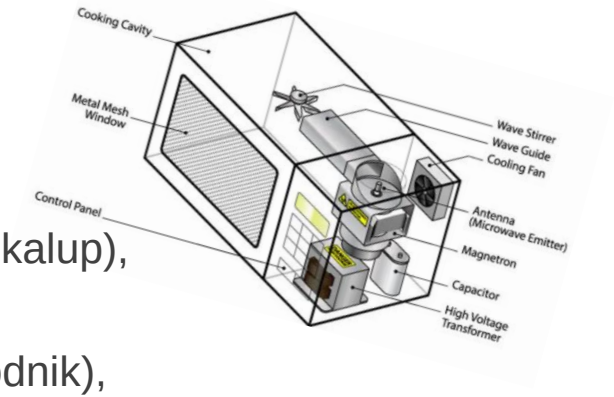




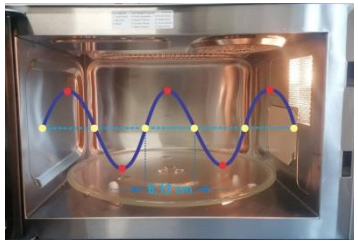


Prednosti mikrovalovne gretja

- **Zmanjšana poraba energije**
- **Izdelek je prej “končan” in lahko tudi višje trdnosti**
- **Ampak:**
  - Ni vsak material za v mikrovalovko (ne kot prekurzor, ne kot kalup),
  - Porazdelitev stoječega vala je “stoječa”,
  - Pomemben je tip izvora mikrovalov (magnetron ALI polprevodnik),
  - Ali mikrovalovi delujejo vseskozi, ali se ugašajo,
  - Ali mirkovalovi rabijo nekaj časa, da začnejo delovati,



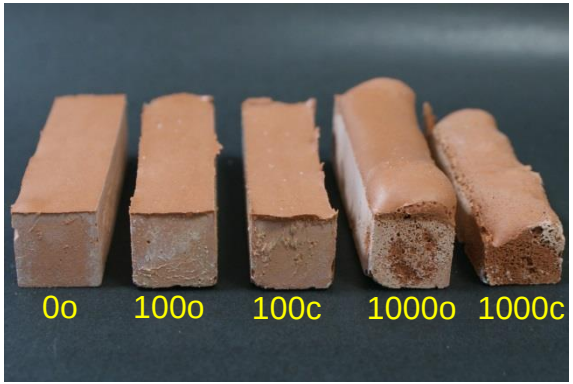
  - Problem je merjenje temperature “in-situ”,
  - Proces mora biti konstatno pod nadzorom…

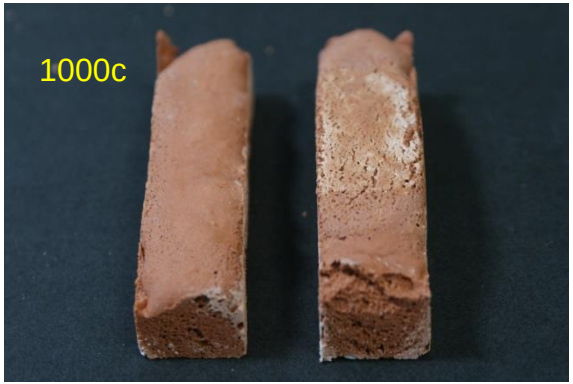


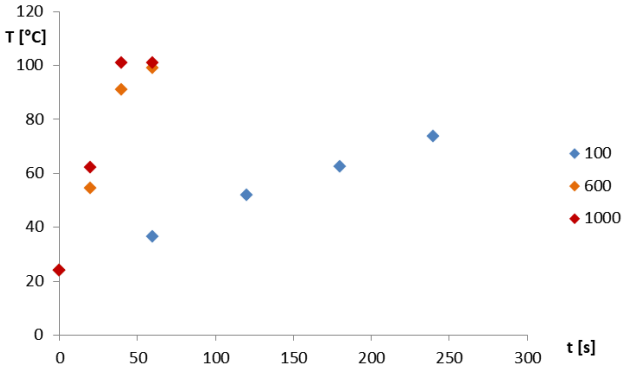


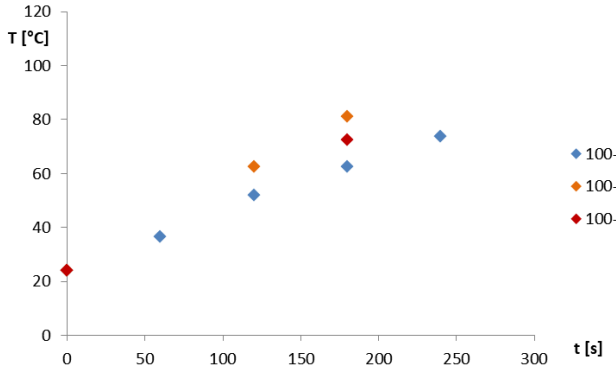
Obsevanje z mikrovalovi - obeti

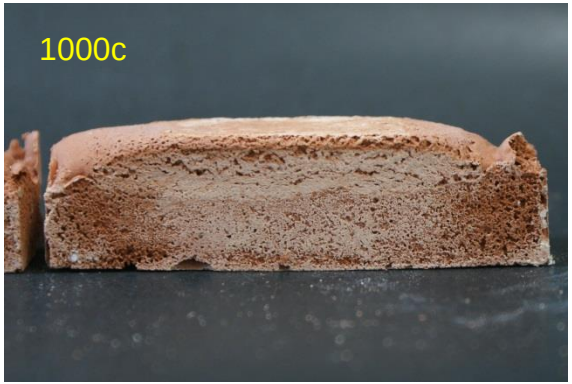
- **Pogoji**
  - 2.45 GHz
  - P= 0, 100 in 1000 W
  - t_0=takoj ko v kalupu
  - $t_{obsevanja}$=1 min
  - odprt/zaprt kalup





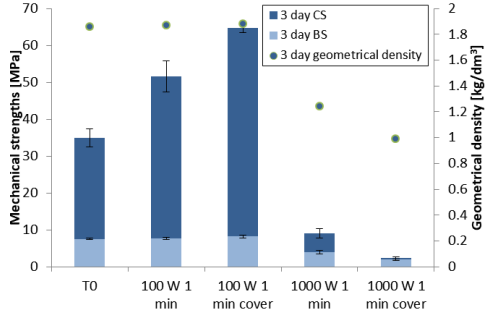


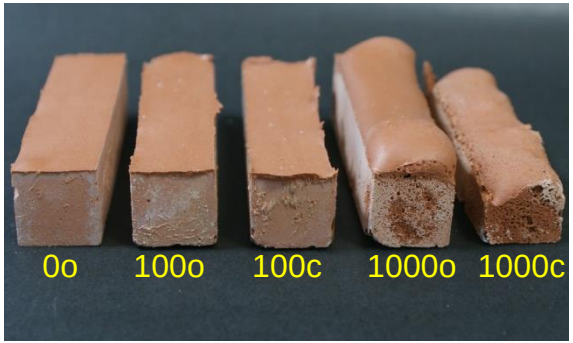


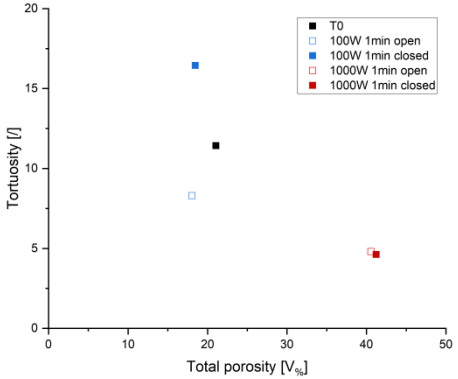


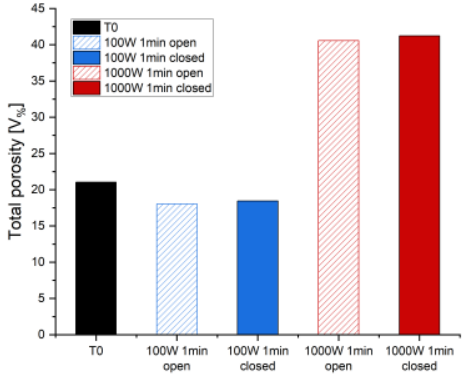
Paper in preparation

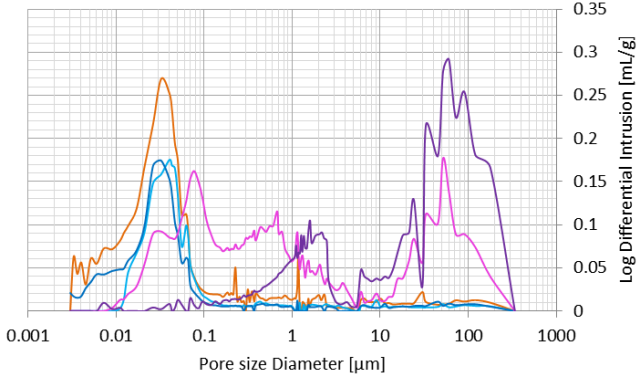
Obsevanje z mikrovalovi - obeti



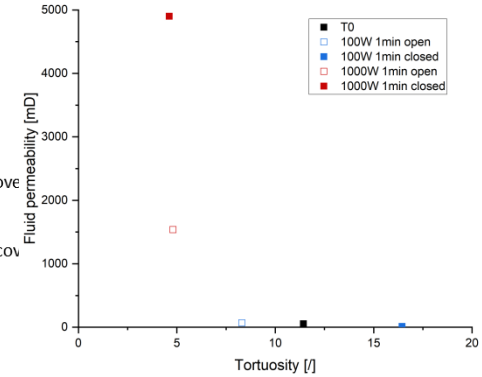






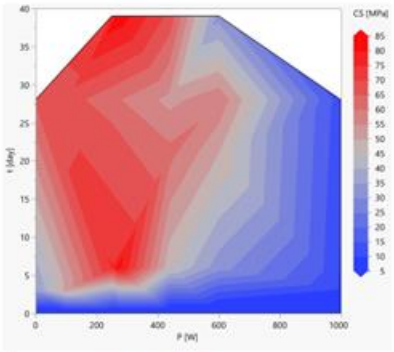


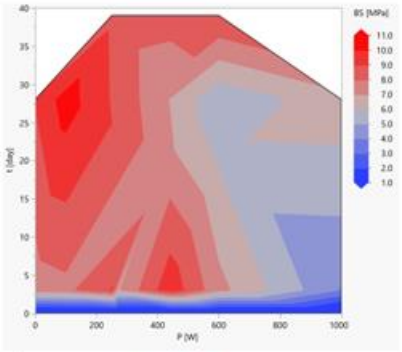


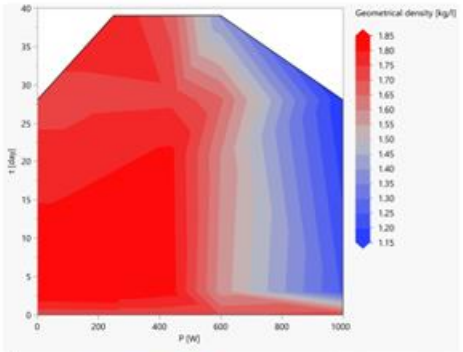


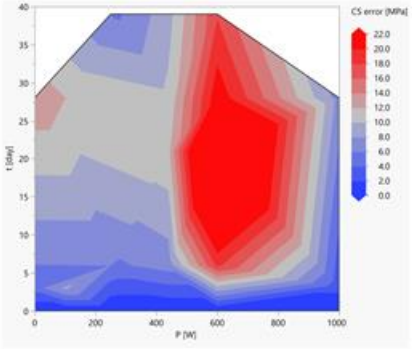
Paper in preparation

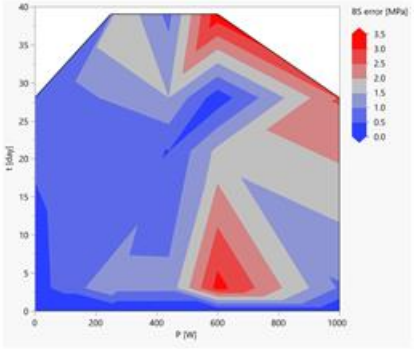
Obsevanje z mikrovalovi - izzivi

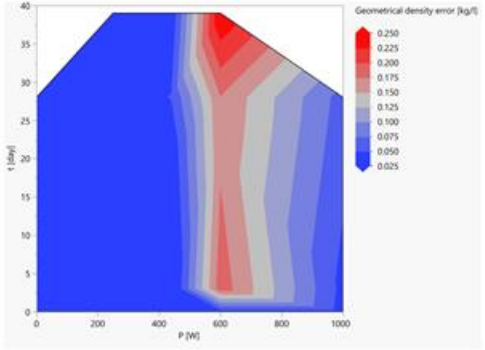


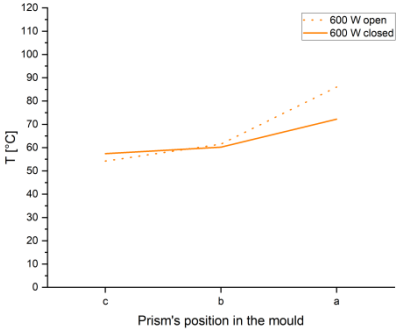












Paper in preparation

Dosedanji uspehi








Dosedanji uspehi







Dosedanji uspehi







W2L, Razvoj: ZAG; Pilotna “proizvodnja” in foto: Termit

Ali imajo AAM/AAF prihodnost?

- **Da?**
  - Že sedaj dosega material AAM/AAF dobre lastnosti,
  - Že sedaj je vložek energije in dela manjši kot za konvencionalne materiale,
  - Ker se da uporabiti karkoli ali vsaj namešati karkoli skupaj, da zadosti kemiji,
  - Surovin več ne bo ali pa bodo predrage, zato bodo edini vir surovin sekundarne surovine,

- **Ne?**
  - Okoljski testi (izluževanje)…

- **Korak po korak do vstopa na konzervativni (±) trg…**

Zahvala:
This work is part of the ARRS project of dr. Barbara Horvat and was financially supported by the Slovenian Research Agency under Grant no. J2-3035.