



HARVINAISTEN MAAMETALLIVARANTOJEN TALTEENOTTOMENETELMÄT

Ari Väisänen

5.10.2016



TUTKIMUSRYHMÄMME HANKKEITA

- Harvinaisten maametallien talteenotto puun- ja turpeenpolton tuhkasta (Jyväskylän Energia Oy)
- INKI Innovatiivinen kiertotalous – Raaka-aineet omasta maakunnasta (jätevesi ja tuhka, Keski-Suomen liiton EAKR rahoitus)
- SER demolaitoshanke (Teknologiateollisuus)
- Metallien talteenottoon soveltuvat 3D-tulostusmateriaalit (Tulevaisuuden tekijät rahoitusohjelma)



KESKI-SUOMEN LIITTO

Regional Council of Central Finland

3 lokakuu 2016

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

Mitä harvinaiset maametallit ovat?

Miksi ne ovat niin kriittisiä?

- Nimi johtuu siitä, että ne löydettiin aikoinaan harvinaisista oksidimineraaleista → mineraalikeskittymiä vähän
- Todellisuudessa ne eivät ole harvinaisia ceriumia yhtä paljon kuin kuparia ja tuliumia enemmän kuin kultaa
- Kriittisyys johtuu niiden käyttökohteista mm. elektroniikassa ja tuotanto on yli 90%:sti Kiinassa



KESKI-SUOMEN LIITTO

Regional Council of Central Finland

3 lokakuu 2016

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

Rare earth metals (REMs)

Period	Group 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	1 H 1.008																	2 He 4.003
2	3 Li 6.941	4 Be 9.012											5 B 10.81	6 C 12.01	7 N 14.01	8 O 16	9 F 19	10 Ne 20.18
3	11 Na 22.99	12 Mg 24.31											13 Al 26.98	14 Si 28.09	15 P 30.97	16 S 32.07	17 Cl 35.45	18 Ar 39.95
4	19 K 39.10	20 Ca 40.08	21 Sc 44.96	22 Ti 47.88	23 V 50.94	24 Cr 52	25 Mn 54.94	26 Fe 55.85	27 Co 58.47	28 Ni 58.69	29 Cu 63.55	30 Zn 65.39	31 Ga 69.72	32 Ge 72.59	33 As 74.92	34 Se 78.96	35 Br 79.9	36 Kr 83.8
5	37 Rb 85.47	38 Sr 87.62	39 Y 88.91	40 Zr 91.22	41 Nb 92.91	42 Mo 95.94	43 Tc (98)	44 Ru 101.1	45 Rh 102.9	46 Pd 106.4	47 Ag 107.9	48 Cd 112.4	49 In 114.8	50 Sn 118.7	51 Sb 121.8	52 Te 127.6	53 I 126.9	54 Xe 131.3
6	55 Cs 132.9	56 Ba 137.3	57 La 138.9	72 Hf 178.5	73 Ta 180.9	74 W 183.9	75 Re 186.2	76 Os 190.2	77 Ir 192.2	78 Pt 195.1	79 Au 197	80 Hg 200.5	81 Tl 204.4	82 Pb 207.2	83 Bi 209	84 Po (210)	85 At (210)	86 Rn (222)
7	87 Fr (223)	88 Ra (226)	89 Ac (227)	104 Rf (257)	105 Db (260)	106 Sg (263)	107 Bh (262)	108 Hs (265)	109 Mt (266)	110 Ds (271)	111 Rg (272)	112 Uub (285)	113 Uut (284)	114 Uuq (289)	115 Uup (288)	116 Uuh (292)	117 Uus 0	118 Uuo 0
			6	58 Ce 140.1	59 Pr 140.9	60 Nd 144.2	61 Pm (147)	62 Sm 150.4	63 Eu 152	64 Gd 157.3	65 Tb 158.9	66 Dy 162.5	67 Ho 164.9	68 Er 167.3	69 Tm 168.9	70 Yb 173	71 Lu 175	
			7	90 Th 232	91 Pa (231)	92 U (238)	93 Np (237)	94 Pu (242)	95 Am (243)	96 Cm (247)	97 Bk (247)	98 Cf (249)	99 Es (254)	100 Fm (253)	101 Md (256)	102 No (254)	103 Lr (257)	

© Rare element resources



KESKI-SUOMEN LIITTO

Regional Council of Central Finland

Vipuvoimaa

EU:lta
2014–2020



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

■ Korkean teknologian teollisuuden kannalta tärkeimpiä ovat:

- Neodyymi (Nd)
- Dysprosium (Dy)
- Praseodyymi (Pr)
- Terbium (Tb)
- Samarium (Sm)
- Yttrium (Y)
- Gadoliini (Gd)
- Europium (Eu)



KESKI-SUOMEN LIITTO

Regional Council of Central Finland

3 lokakuu 2016

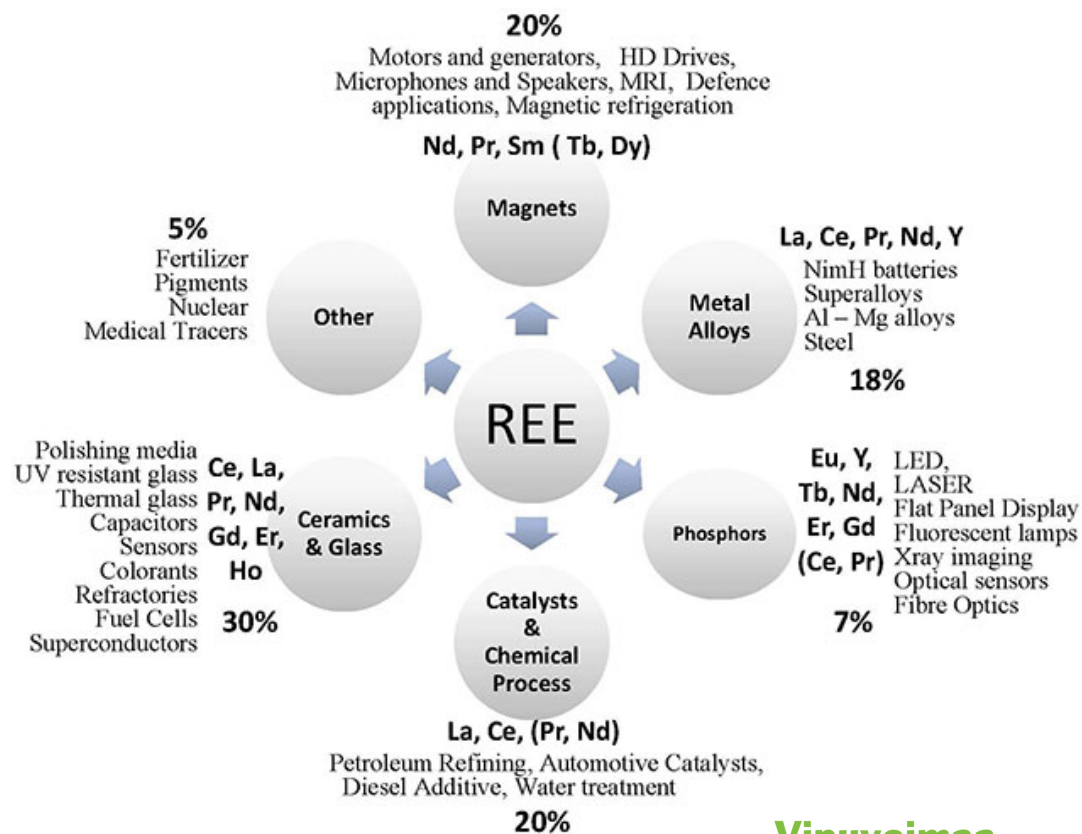
Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto



Harvinaisten maametallien käyttö



KESKI-SUOMEN LIITTO

Regional Council of Central Finland

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

Käyttöä tulevat lisäämään

- LED valojen yleistyminen
- Tehokkaiden magneettien tarve
- Pienten sähkömoottorien tarve
- Digitalisaatio



Öko-Institut e.V report, Recycling critical raw materials from waste electronic equipment, Darmstadt 2012.



KESKI-SUOMEN LIITTO

Regional Council of Central Finland

3 lokakuu 2016

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

Onko vaihtoehtoisia REM lähteitä?

- Kivihiilen tuhkaa 750 milj. t vuodessa
- Biopolton lentotuhkaa 480 milj. t vuodessa
- Elektroniikan komponentit (magneetit)
- Jätevedet?



© Henri Perämäki



KESKI-SUOMEN LIITTO
Regional Council of Central Finland

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



- Puun ja turpeenpolton tuhkassa jopa 700 mg/kg harvinaisia maametalleja
- Jyväskylän Energia Oy tuottaa 56 000 tonnia tuhkaa vuodessa → 35 tonnia REM:ia
- Kivihiilen tuhkassa pitoisuudet voivat olla vieläkin suurempia → ongelmana kuitenkin tuhkan niukkaliukoisuus



KESKI-SUOMEN LIITTO

Regional Council of Central Finland

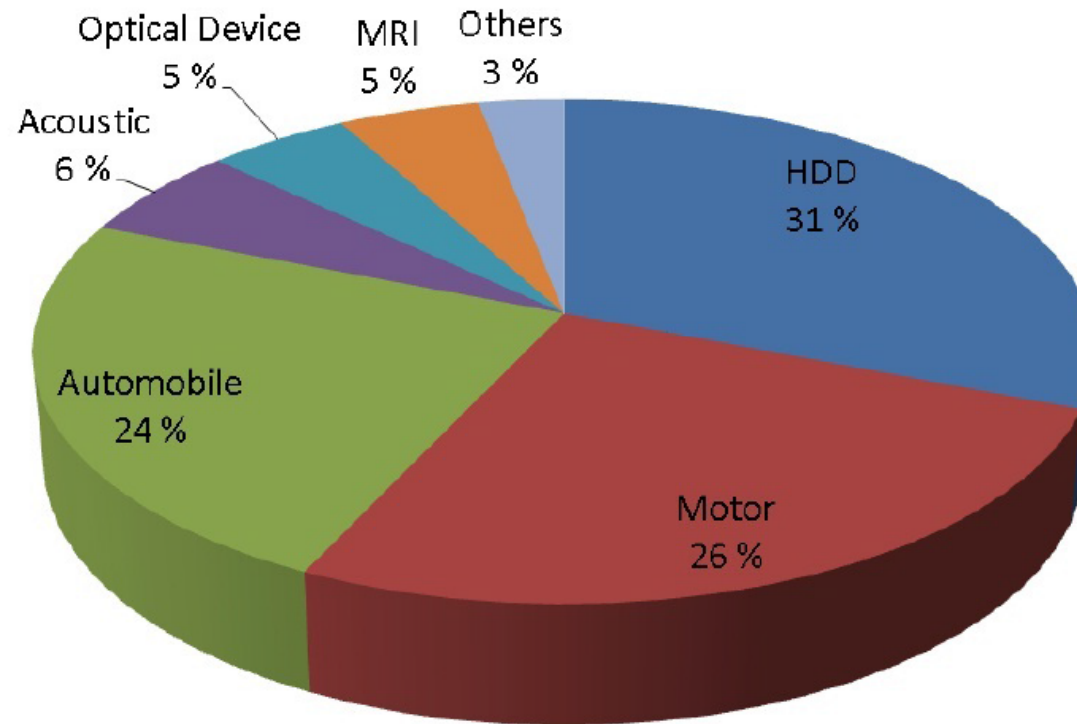
3 lokakuu 2016

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

Nd-Fe-B magneettien käyttökohteet



Bristøl, L.M.L., TMT4500 Materials Technology, NTNU, Trondheim 2011.



KESKI-SUOMEN LIITTO

Regional Council of Central Finland

3 lokakuu 2016

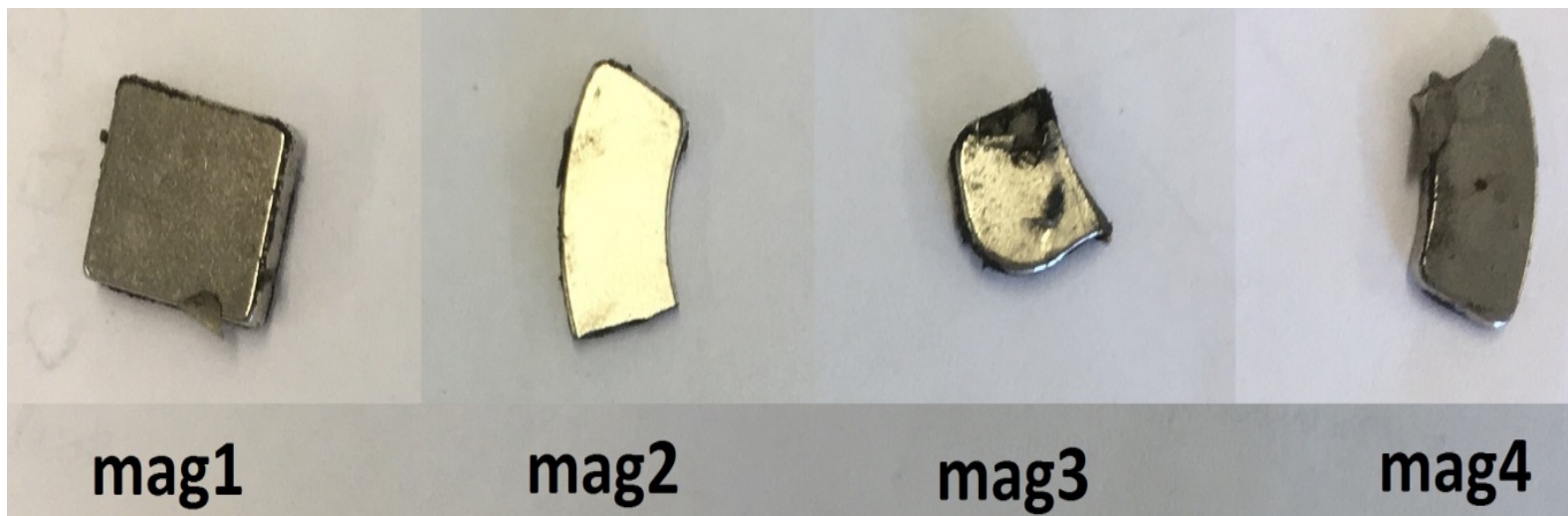
Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

Kovalevyjen magneetit

Kovalevyjen magneetit ovat erinomainen harvinaisten maametallien lähde



KESKI-SUOMEN LIITTO

Regional Council of Central Finland

3 lokakuu 2016

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

Magneetin 1 REM-pitoisuudet ja hinta tonnissa magneetteja

Alkuaine	Pitoisuus (mg/kg)	Pitoisuus (%)	Arvo jakeessa €/t	Maaailmanmarkkinahinta €/kg
Neodyymi	251 000	25,1	12 350	49,2
Gadolinium	20 100	2,0	40	20
Dysprosium	6 600	0,66	1 760	266,5
Praseodyymi	63 500	6,35	11 113	175,0
Terbium	-			654,0
Holmium	250	0,025	10	40,0
Samarium	11 700	1,17	234	20
Europium	400	0,04	240	600,0
Erbium	1 400	0,14	231	165,0
YHTEENSÄ			25 970	



KESKI-SUOMEN LIITTO
Regional Council of Central Finland

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

Harvinaisten maametallien talteenotto tuhkasta

- Tuhkan käsittelyn ongelmia
 - heterogeeninen koostumus
 - liuotettaessa mukana koko jaksollinen järjestelmä
 - kalsium reagoi (saostuu) samalla tavalla kuin harvinaiset maametallit
 - harvinaisten maametallien konsentroidi työlästä



KESKI-SUOMEN LIITTO

Regional Council of Central Finland

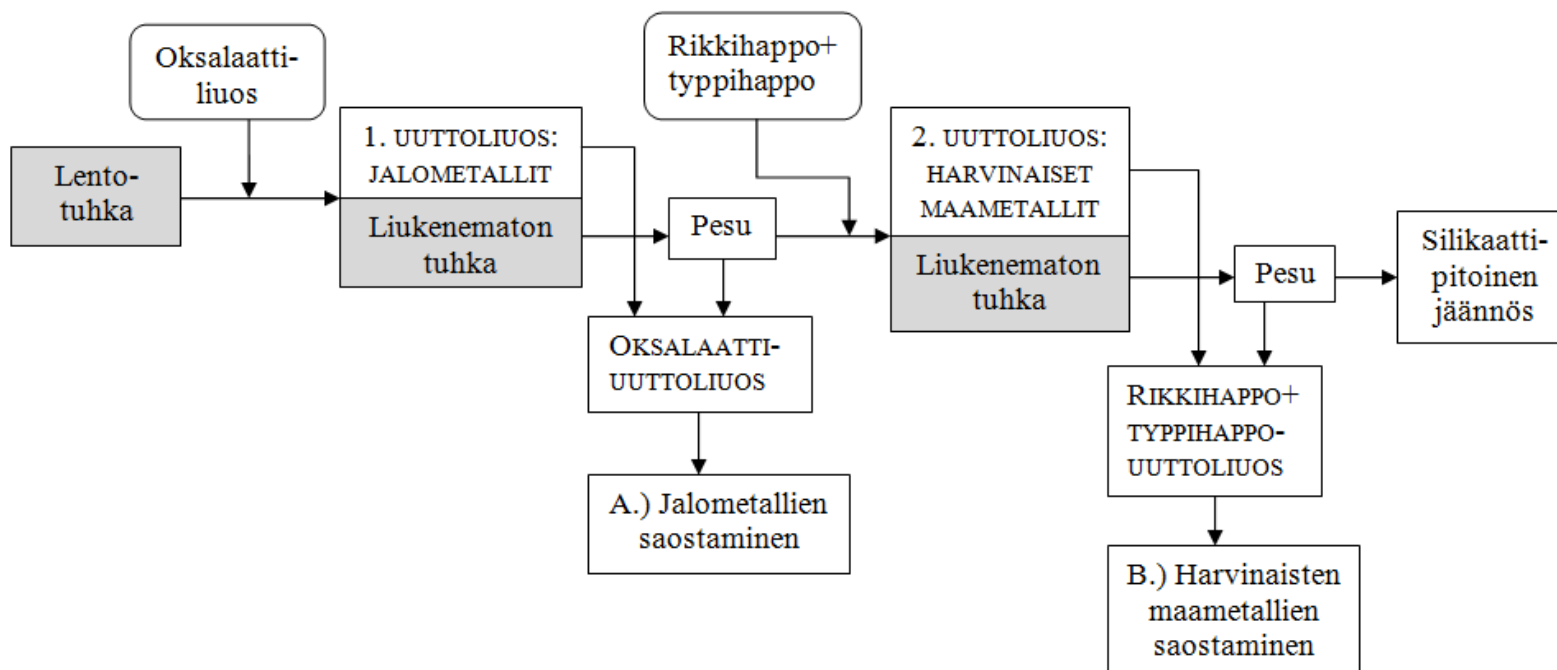
3 lokakuu 2016

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

Tuhkan liuotus kaksivaiheisesti



Väisänen, A., Valkonen, J., Perämäki, S., Soikkeli, V. & Ryymin, R.,
Patentti- ja rekisterihallitus, 2013, Patentti No 123432, 1-20.



KESKI-SUOMEN LIITTO

Regional Council of Central Finland

3 lokakuu 2016

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

Neste-neste-uutto

- Neste-neste-uuton avulla harvinaiset maametallit konsentroidaan
- Uuton olosuhteita muuttamalla kevyet (LREM) ja raskaat (HREM) metallit saadaan erottumaan toisistaan



KESKI-SUOMEN LIITTO

Regional Council of Central Finland

3 lokakuu 2016

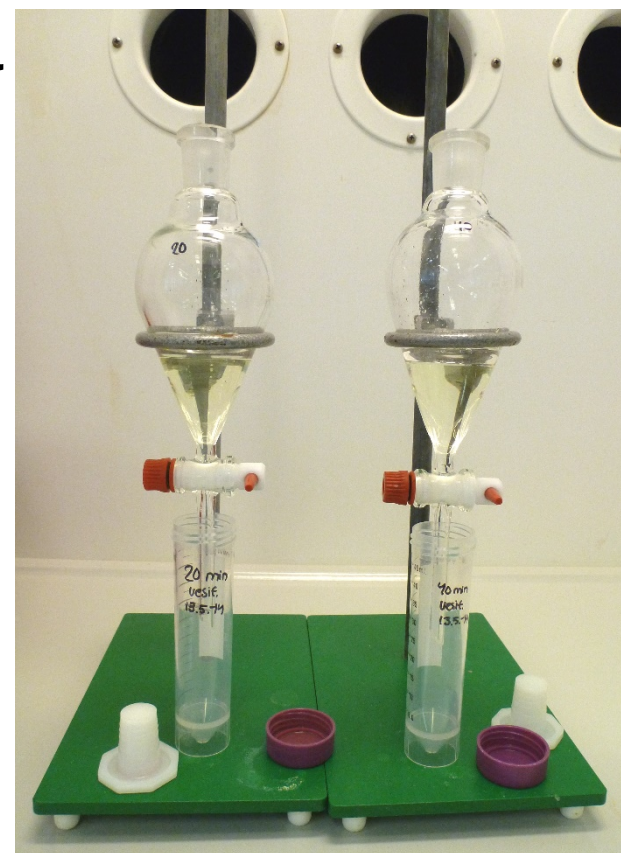
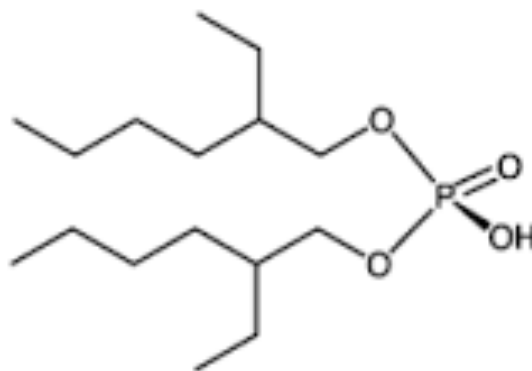
Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

■ Neste-neste-uutossa REM:it siirretään happoliuoksesta orgaaniseen faasiin

- ✓ EHEHPA
- ✓ TBP
- ✓ D2EHPA



KESKI-SUOMEN LIITTO

Regional Council of Central Finland

3 lokakuu 2016

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

- Harvinaiset maametallit takaisinuuutetaan orgaanisesta faasista happojen H_2SO_4 , HNO_3 tai HCl avulla
- Harvinaiset maametallit saostetaan tyypillisesti oksalaatteina
- Saostuma otetaan talteen ja poltetaan 1000 asteessa oksidiksi



KESKI-SUOMEN LIITTO

Regional Council of Central Finland

3 lokakuu 2016

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

Vaihtoehtoiset talteenottomenetelmät

- Smopex kuitutekniikka
- CH Collector
- 3D-tulostetut materiaalit



KESKI-SUOMEN LIITTO

Regional Council of Central Finland

3 lokakuu 2016

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

UNIVERSITY OF JYVÄSKYLÄ

YHTEISTYÖSSÄ MUKANA



Teknologiateollisuus

JYVÄSKYLÄ



KESKI-SUOMEN LIITTO

Regional Council of Central Finland

3 lokakuu 2016

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

Kiitokset mielenkiinnostanne!



KESKI-SUOMEN LIITTO
Regional Council of Central Finland

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto