

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu

Puupaalut 1950-luvulta

Kira Circularis – Kiinteistö- ja rakennusalan kiertotalouden tuotteet, palvelut ja innovaatiot

1.4.2024-31.3.2026

Hanke on Euroopan unionin osarahoittama Hämeen ELY-keskuksen kautta.



**Euroopan unionin
osarahoittama**



Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu

Sisällys

1. Lähtötiedot	3
2. Tutkittavat kappaleet	3
2.1 Lähtötiedot koekappaleista	3
2.2 Testattavien kappaleiden työstö	5
2.2.1 Näytteidenotto haitta-aineiden määrittämistä varten	5
2.3 Tutkimusten suoritus.....	7
2.1.2 Puumateriaalin kosteuspitoisuuden määrittäminen.....	7
2.1.2 Puristuslujuuden määrittäminen.....	7
2.1.3 Veto	7
2.1.4 Taivutuslujuuden ja kimmokerroin määrittäminen.....	8
3 Tulokset	9
3.1 Puumateriaalin kosteuspitoisuus	9
3.2 Puristuskestävyys	10
3.3 Vetokestävyys.....	11
3.4 Taivutuskestävyys ja kimmokerroin	12
4 Loppukaneetit.....	13

Kira Circularis -hanke saa/sai rahoitusta Hämeen ELY-keskukselta. Hanketta koordinoi Metropolia Ammattikorkeakoulu, Osatoteuttajia ovat Turun Ammattikorkeakoulu, Tampereen Ammattikorkeakoulu, Oulun Ammattikorkeakoulu, Karelia Ammattikorkeakoulu ajalla 1.4.2024 – 31.3.2026. Hankkeen kokonaisbudjetti on noin 1500 000 euroa.



**Euroopan unionin
osarahoittama**



Raportti puupaalujen testauksesta 14.3.2025

1. Lähtötiedot

Insinööritoimisto Profund Oy lähestyi Kira Circularis-hankkeen työryhmää mielenkiintoisella tutkimusaiheella. He olivat purkaneet Turusta vanhoja satamarakenteita, jotka oli perustettu 1950-luvulla asennettujen puupaalujen varaan. Silmämääräisesti purettu paalut näyttivät hyväkuntoisille, joten heräsi kysymys, mitä vanhojen paalujen todelliset mekaaniset ominaisuudet olisivat. Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu päätti ottaa aiheesta kopin ja suorittaa tarkempia tutkimuksia.

2. Tutkittavat kappaleet

Insinööritoimisto Profund Oy lähetti Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoululle kaksi paalun pätkää. Pätkät olivat melko lyhyitä, koska paaluja kuljetettiin normaalilla henkilöautolla ja ne lähetettiin Savonlinnaan postin välityksellä.

2.1 Lähtötiedot koekappaleista

Koekappaleet oli kääritty toimituksen ajaksi tiukasti muoviin. Heti lähetyksen saavuttua kappaleista sahattiin näytepalat puumateriaalin kosteuden määrittämistä varten. Koekappale 1 oli noin 900 mm pitkä, materiaaaliltaan mäntyinen paalunpätkä. Kappaleen 1 puumateriaali tuoksui hieman jollekin kemikaalille ja oli väriltään vihertävää, joten se oletettiin materiaaaliltaan kyllästetyksi. Koekappale 1:n ulkopinta oli hieman vaurioitunut, joko alkuperäisen asennuksen tai purkamisen yhteydessä.

Kappale 2 oli noin 500 mm pitkä, mäntyinen paalunpätkä. Kappaleen 2 puumateriaali oli kirkasta väriltään, joten se oletettiin kyllästämättömäksi, mutta myöhemmissä sahauksissa havaitsimme sen olevan samaa materiaalia koekappale 1:n kanssa.



**Euroopan unionin
osarahoittama**





Kuva 1 Koekappale 1



Kuva 2 Koekappale 2



**Euroopan unionin
osarahoittama**

KIRA CIRCULARIS

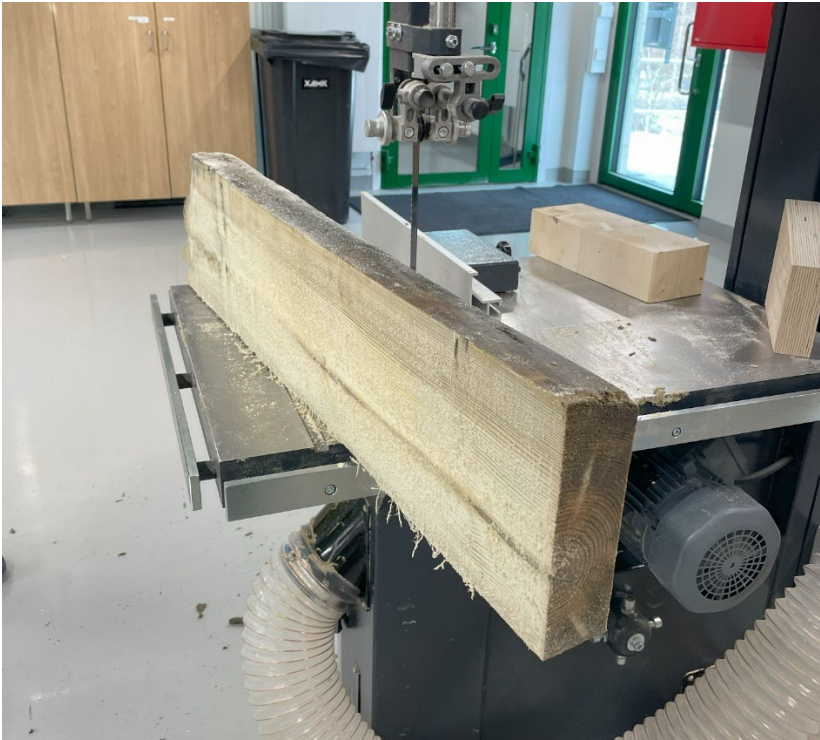
Kiinteistö- ja rakennusalan kiertotalouden
tuotteet, palvelut ja innovaatiot



Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu

2.2 Testattavien kappaleiden työstö

Koska koekappaleet olivat hyvin lyhyitä poikkileikkaukseensa nähden, päätettiin niistä työstää pienempiä testattavia kappaleita mekaanisten ominaisuuksien selvittämiseksi. Koekappale 1:sta työstettiin 3 kpl 50x55x850 sauvoja nelipistetaivutustestiä varten. Lisäksi koekappale 1:sta ja 2:sta sahattiin pienempiä kappaleita puumateriaalin puristus- ja vetokestävyysien määrittämiseksi. Koekappale 2 oli niin lyhyt, ettei siitä voinut työstää sauvoja taivutustestiä varten.



Kuva 3 Koekappale 1:stä shattu siivu

2.2.1 Näytteidenotto haitta-aineiden määrittystä varten

Testattavien kappaleiden työstön ohessa, otimme talteen kappaleiden sahauksessa syntynyttä purua. Lisäksi otimme talteen muutaman ylijäämäpalan. Näytteet pussitettiin ja lähetettiin Metropolia Amk:n laboratorioon analysoitavaksi.



**Euroopan unionin
osarahoittama**





Kuva 4 Näytteet haitta-aineanalyysiin



Kuva 5 Koekappale 1:stä sahatut sauvat taivutustestiä varten



**Euroopan unionin
osarahoittama**

KIRA CIRCULARIS

Kiinteistö- ja rakennusalan kiertotalouden
tuotteet, palvelut ja innovaatiot



Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu

2.3 Tutkimusten suoritus

2.1.2 Puumateriaalin kosteuspitoisuuden määrittäminen

Puumateriaalin kosteuspitoisuus määritettiin standardin EN 13183 mukaisella uunikuivausmenetelmällä. Ensimmäiset näytteet sahattiin paalujen päistä välittömästi kuljetuksen aikaisten muovipakkausten avaamisen jälkeen.

Lujuustestauksia varten sahattuja koekappaleita säilytettiin laboratorio-olosuhteissa (+18°C, RH 63 %) parin viikon ajan. Heti testausten jälkeen koekappaleista sahattiin näytteet kuivaukseen ja niistäkin määritettiin puumateriaalin kosteuspitoisuus.

2.1.2 Puristuslujuuden määrittäminen

Molemmista paaluista 1 ja 2 sahatut pienemmät kappaleet puristettiin 100 kN:n Shimadzu kuormituskeuhällä.

2.1.3 Veto

Paalusta 1 sahattiin Shimadzun vetoleukoihin sopivat näytteet.



Kuva 6 Näytteet puristus- ja vetotesteihin



**Euroopan unionin
osarahoittama**

KIRA CIRCULARIS

Kiinteistö- ja rakennusalan kiertotalouden
tuotteet, palvelut ja innovaatiot



Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu



Kuva 7 Vetomurto syysuntaan nähden poikittain

2.1.4 Taivutuslujuuden ja kimmokertoimen määrittäminen

Paalusta 2 sahatut sauvat kuormitettiin nelipistetaivutuksella standardin EN 408 kohdan 10.2 mukaisesti. Testit suoritettiin 100kN:n Shimadzu kuormituskehällä. Sauvoille määritettiin taivutusmurtolujuus ja kimmokerroin.



Kuva 8 Nelipistetaivutustesti



**Euroopan unionin
osarahoittama**

KIRA CIRCULARIS

Kiinteistö- ja rakennusalan kiertotalouden
tuotteet, palvelut ja innovaatiot



Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu

3 Tulokset

3.1 Puumateriaalin kosteuspitoisuus

Taulukko 1 Paalumateriaalin kosteuspitoisuus näytteiden saavuttua

Sample	Paalu 1	Paalu 2
MC% calculated	68,6	55,6
Weight before drying (g)	277,9	286,1
Weight after drying (g)	87,2	126,9

Taulukko 2 Testikappaleiden kosteuspitoisuus testaushetkellä

Sample	P1.1	P1.2.1	P1.2.2	P2.1	P2.2	V1-1	V1-2	V1-3	T1	T2	T3
MC% calculated	23,8	22,7	17,0	49,2	51,1	38,2	29,4	22,7	29,0	36,7	41,4
Weight before drying (g)	118,7	123	115,6	151,7	150,7	83,2	72,1	57,6	99,2	99,2	136,8
Weight after drying (g)	90,5	95,1	96	77,1	73,7	51,4	50,9	44,5	70,4	62,8	80,1



**Euroopan unionin
osarahoittama**

KIRA CIRCULARIS

Kiinteistö- ja rakennusalan kiertotalouden
tuotteet, palvelut ja innovaatiot

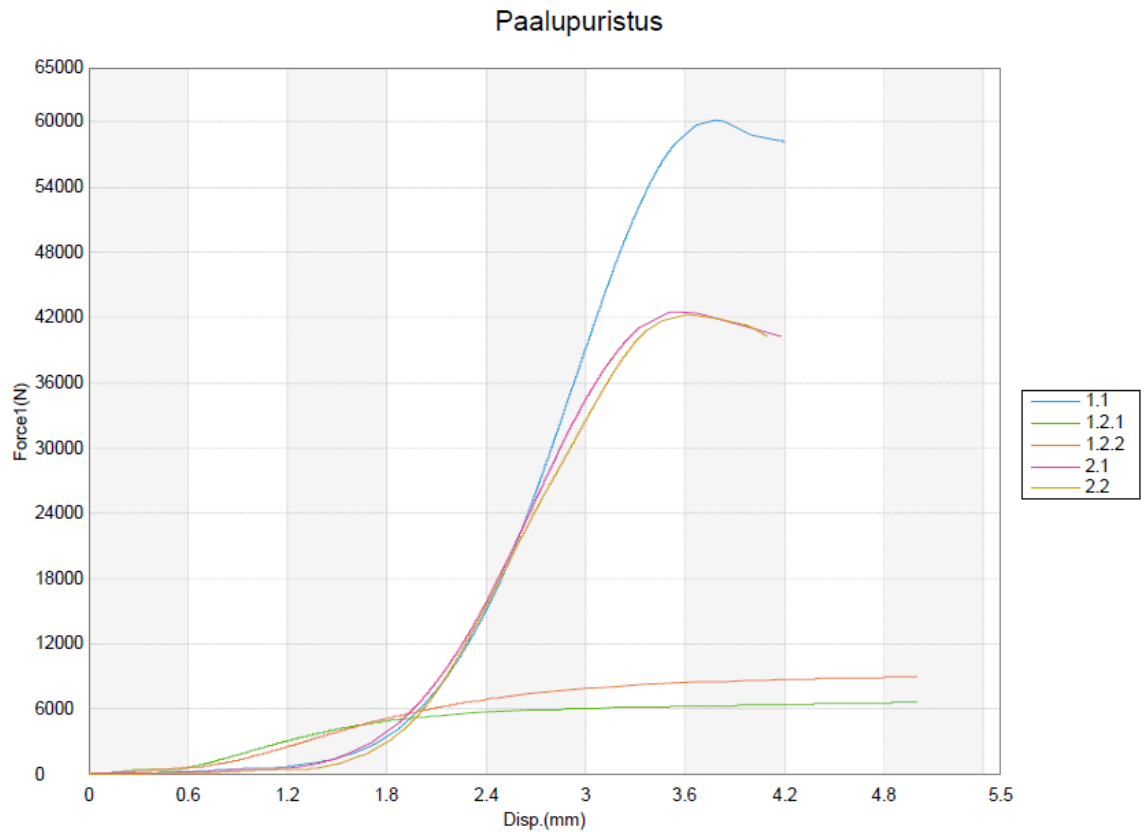


Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu

3.2 Puristuskestävyys

Syysuuntaiset puristustestit tehtiin molemmille paalukappaleille: näytteet 1.1 (paalu 1) ja 2.1 ja 2.2 (paalu 2). Syysuuntaa vasten kohtisuoraan puristettiin paalusta 1 sahatut näytteet: 1.2.1 ja 1.2.2.

Pyöreän puutavaran puristuslujuus taulukoissa (EC5): $f_{c,0,k} = 21 \text{ N/mm}^2$; $f_{c,90,k} = 2,5 \text{ N/mm}^2$



Kuva 9 Voima- siirtymäkäyrät puristustesteistä

Taulukko 3 Näytteiden puristuskestävyydet

Paalu	Näyte	F max (N)	N/mm ²	Syysuunta
1	1.1	60 196	16,6	0
1	1.2.1	6 583	1,7	90
1	1.2.2	8 938	2,3	90
2	2.1	42 553	12,6	0
2	2.2	42 214	12,9	0



**Euroopan unionin
osarahoittama**

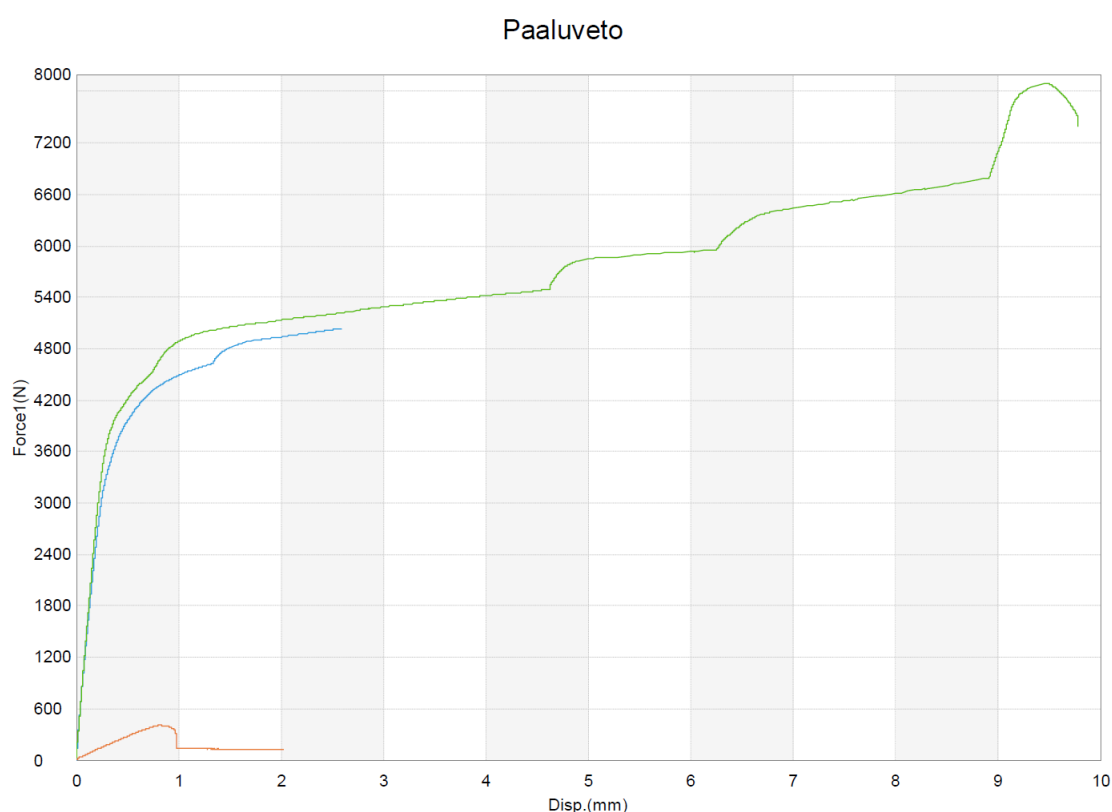


3.3 Vetokestävyys

Vetokestävyden määrittäminen hieman epäonnistui, koska vetokappaleet eivät olleet aivan standardin mukaisia ja vetokokeen aikana siirtymää mitattiin pelkästään kuormituskehän sylinterin siirtymäanturilla.

Kuormituksen aikana koekappaleet pääsivät mahdollisesti hieman lipsumaan leuoista. Syysuuntaan nähden poikittainen vetotesti onnistui, taulukossa maksimikestävyys. Mutta syysuuntaisista vedoista taulukkoon on merkitty vain kimmoisen alueen maksimit, jotka ovat varmasti varman puolella.

Pyöreän puutavaran ominaisvetolujuudet (EN 338): $f_{t,0,k} = 14,5 \text{ N/mm}^2$; $f_{t,90,k} = 0,4 \text{ N/mm}^2$.



Kuva 10 Voima-siirtymäkäyrät vetotesteistä

Taulukko 4 Näytteiden vetokestävyys

Paalu	Näyte	F max (N)	N/mm ²	Syysuunta
1	1_1	3200	7	0
1	1_2	3200	7	0
1	1_3	407	1	90



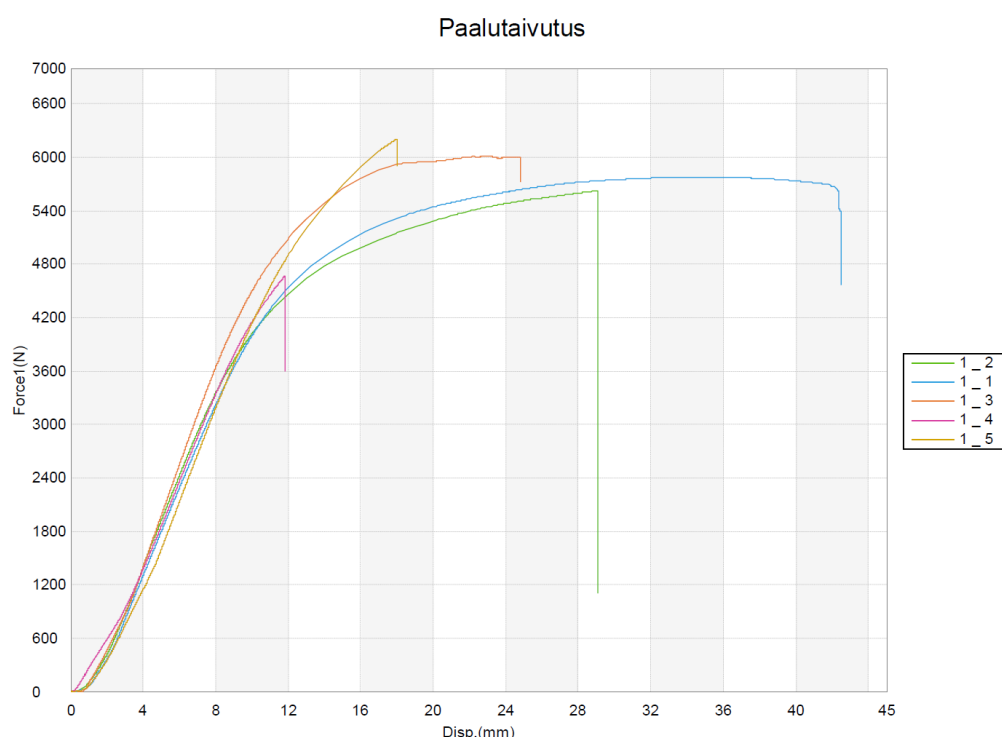
**Euroopan unionin
osarahoittama**



3.4 Taivutuskestävyys ja kimmokerroin

Taivutuskestävyyksien ja kimmokertoimien määrittäminen onnistui hyvin. Huomioin arvoista on, että näyte 1_3 kuormitettiin ensin normaalisti, kuten näytteet 1_2 ja 1_1. Mutta kuormituksen jälkeen näyte käännettiin 180 astetta akselinsa ympäri ja kuormitettiin uudelleen, tulos: käyrä 1_4. Tämän jälkeen näytettä käännettiin vielä 90 astetta akselinsa ympäri, josta tulos 1_5, joka saavutti kaikista korkeimman lujuuden. Puumateriaalilla on siis vielä ensimmäisen murtuman jälkeen paljon kapasiteettia jäljellä muihin kuormitussuuntiin.

Pyöreän puutavaran ominaistaivutuslujuus ja jäykkyysominaisuudet (EN 338): $f_{m,k}$ 24 N/mm², kimmokertoimet: $E_{0,mean}$ 11 000 N/mm²; $E_{0,05mean}$ 7 400 N/mm².



Kuva 11 Voima-siirtymäkäyrät nelipistetaivutustestistä

Taulukko 5 Näytteiden taivutuslujuudet ja kimmokertoimet (vrt. C24: $f_{m,k}$ 24 N/mm², $E_{0,mean}$ 11 000 N/mm², $E_{0,05mean}$ 7 400 N/mm²)

	F max (N)	f_m (N/mm ²)	E (N/mm ²)
1_1	5774	32,1	6258
1_2	5621	31,5	6510
1_3	6017	32,8	7361
1_4	4665	25,9	6552
1_5	6205	30,7	5487



**Euroopan unionin
osarahoittama**



4 Loppukaneetit

Meressä ja savessa seisseiden paalujen kosteuspitoisuudet vastasivat tuoreen puun kosteutta. Materiaali oli silmin nähden hyvin säilynyttä. Lujuustesteissä saavutetut arvot ovat ihan kelvollisia uuteen puumateriaaliin verrattuna. Testattujen kappaleiden taivutuslujuudet ylittivät pyöreän puutavaran ominaislujuuden. Muut lujuudet jäivät ominaislujuuksista, mutta materiaalin kosteuspitoisuus vaikuttaa näihin merkittävästi.

Luotettavampien tuloksien saamiseksi täytyisi ottaa paljon suurempi otanta näytteitä ja noudattaa tarkemmin standardin mukaista testausta. Näytteet täytyisi myös kuivattaa / tasaannuttaa standardien mukaisiin olosuhteisiin. Tässä tutkimuksessa vetotesti hieman epäonnistui, mutta käytännössä paalujen mitoituksen kannalta vetolujuudella ei ole merkitystä.

Vanhat paalut voisivat olla vielä käyttökelpoisia uusissa käyttökohteissa, mikäli ne saadaan irrotettua ehjänä. Huomioitava uudelleenkäytössä, että näytekappaleet olivat melko haastavia työstettäviä, puuntyöstökoneet olivat tiukoilla märän puun ja saven yhdistelmästä.

Odotamme vielä haitta-aine määritysten tuloksia, voi olla että 1950-luvun paalut sisältävät aineita, jotka eivät tänä päivänä ole enää sallittuja käyttää ympäristörakentamisessa.



**Euroopan unionin
osarahoittama**



LÄHTEET

Andersson-Berlin, K. 2025. Sähköpostiviesti 2.4.2025. Insinööritoimisto Profund Oy

SFS-EN 338. 2016. Structural timber. Strength classes.

SFS-EN 408 + A1. 2012. Puurakenteet. Rakennepuut ja liimapuut. Fysikaalisten ja mekaanisten ominaisuuksien määrittäminen.

SFS-EN 14251. 2004. Rakenteellinen pyöreä puutavara. Testimenetelmät.



**Euroopan unionin
osarahoittama**

KIRA CIRCULARIS

Kiinteistö- ja rakennusalan kiertotalouden
tuotteet, palvelut ja innovaatiot



Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu