

Projektiryhmän palaveri III

Projektipäällikkö Kai Möller

11.09.2025

Työpakettien status

Työpaketti 1: Maaperätyypin vaikutus puun lahon kestoon

Toimenpiteet: 2024 otettiin 17 huonoimmat taivutuslujuudet omaavien pylväiden maaperänäytteet ja toimitettiin laboratorioon. Analysointi kesken. Tavoitteena tutkia vielä tämän syksyn aikana huonoja taivutuslujuuksia sisältävien 5 - 8 pylvään maaperänäytteet. Analysointi loppuraportissa.

KAARKOIS-SUOMEN AMMATTIKORKEAKOULU Tutkimusyksikkö Mikopolis JUHO PEURA TEOLLISUUSKATU 3-5 50130 MIKKELI		Näytteenottovuosi	Saapunut	Aloitettu	Sivu
		Tila	19/11/24	19/11/24	1/4
		Kunta			
		MIKKELI			
		Neuvontajärjestö			
		Näytteenottoaja			
		Merkki			
		Projekti 33200079			
Näytteen numero	1	2	3	4	5
Lähetäjän tunnus	3619761 Kreosotti	3704434 Kreosotti	3809831 Kreosotti	3719983 Kreosotti	3699056 Kreosotti
Puntamaan maalaus	HtMr	HtMr	HtMr	HtMr	HtMr
Multavuus	m	m	m	m	m
*Johdotulku 10xmS/cm	< 0,3	0,4	0,4	< 0,3	0,7
*Puntamaan happamuus	5,1	5,4	5,4	5,4	5,0
*Kalsium (Ca) mg/l	78	276	73	81	235
*Fosfori (P) mg/l	< 2,0	4,4	< 2,0	< 2,0	4,1
*Kalium (K) mg/l	18	86	35	28	62
*Magnesium (Mg) mg/l	10	42	14	10	33
*Rikki (S) mg/l	11	6,3	24	16	23
*Natrium (Na) mg/l					
*Boori (B) mg/l					
*Kupari (Cu) mg/l	1,0	4,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0
*Mangaani (Mn) mg/l	< 6,0	13	7,2	32	60
*Sinkki (Zn) mg/l	3,4	45	13	8,3	150
*Rauta (Fe) mg/l					
Nitraattityppi (NO3-N) mg/l					
*Orgaaninen aines %	4,7	2,7	3,5	2,6	11,8
Kosteus %	7,43	15,7	14,0	9,15	34,8



Pylvästä on valunut runsaasti kreosootia maaperään. Kuopan reunat osittain kalliota.



Esim. 3619761

Kreosotti
Ei kobrausmerkintää
Käyttöikä 16 vuotta
Löytö - Ristiina
Aukea (sähkölinja)
 $f_m = 28 \text{ MPa}$
 $u_{\text{pylväs}} = 38,4 \%$



Työpaketti 2: Kuparikyllästettyjen puutuotteiden elinkaari käytännössä ja elinkaaren optimointi sekä lämpöpuun mekaaniset ominaisuudet pylväsmittakaavan tuotteissa

Toimenpiteet:

- | | |
|-----------------------------|--|
| VALMIS | <ul style="list-style-type: none"> • Testataan mekaanisesti riittävän edustava otos eri-ikäisiä ja -tyyppisiä kuparikyllästettyjä pylväitä. Päätestausmenetelmä: täysikokoinen pylvään taivutustesti (murtovoima, lujuus, taivutusmoduuli, murtumistapa) EN 14229 mukaisesti. Verrokkeina CCA- ja kreosoottikyllästetyt pylväät |
| Kesken,
aineistoa koottu | <ul style="list-style-type: none"> • Huomioidaan sijoituspaikka, kuntoluokitukset, kyllästyskemikaalien erot, irrotuksessa syntyneet vauriot |
| Ei toteudu | <ul style="list-style-type: none"> • Vertailutestit lämpökäsitellyille tai muuten modifioituille puupylväille ei toteudu tässä hankkeessa. Suurikokoisia (täysimittaisia), maastossa olleita pylväskappaleita ei saatu testeihin. Lämpökäsiteltyä puuta on pienillä testikappaleilla testattu eri laitosten toimesta paljonkin, joten tässä hankkeessa vastaavien testikappaleiden testaus ei ole tarpeellista. |
| Kesken,
aineistoa koottu | <ul style="list-style-type: none"> • Lisäksi määritetään mm. kosteuspitoisuus, kyllästysaineen tunkeuma ja määrä sekä maaperätestaus (valitut kohteet) • Tavoitteena lisätä ymmärrystä puupylväiden elinkaaresta → Tiedottamisen lisääminen hankkeen loppupuoella, kun tuloksia on julkaistavissa. |

Työpaketti 3: Puupylväiden käyttöiän raja-arvot

Toimenpiteet:

Valmis

- Testataan saneerauskohteista kerättyjä pylväitä ja analysoidaan niiden kuntoa ja ominaisuuksia. **Pylväitä testeihin sekä huoltotoimenpiteiden (huono kunto) että sähkönjakelun toimintavarmuuden lisäämisen takia (maakaapelointi, linjan siirtäminen metsästä tien varteen)**

Kesken, metadatatassa osin puutteellista tietoa

- Huomioidaan käytössä oleva tieto pylväiden tarkastuksista maastossa

Kesken

- Arvioidaan kuntoluokittelun luotettavuutta ja pidemmän aikavälin muutoksia pylvään kunnossa (miten ns. nauhoitetut pylväät kestävät käytännössä ja miten pitkään niitä voidaan käyttää turvallisesti)

Kesken

- Tavoitteena lisätä maastossa tapahtuvien mittausten luotettavuutta

Toteutusaikataulu:

- Työpaketin 2 testausten yhteydessä

Työpaketti 4: Käytöstä poistetun kyllästetyn puumateriaalin materiaaliominaisuudet

Toimenpiteet:

Kesken

- Tutkitaan käytetyn pylväsmateriaalin keskeiset ominaisuudet

Kesken

- Tunnistetaan materiaalin historia, alkuperä sekä käytetyt kyllästysaineet ja menetelmät

Aiheesta loppu-
raportissa (toisaalta
kerättyä tietoa)

- Pyritään laajentamaan tutkimusta muihin tuotteisiin, kuten käytöstä poistettuihin puusiltoihin, valaisinpylväät, tolppatuotteet

Kesken

- Tavoitteena tutkia käytettyjen materiaalien kierrätysmahdollisuuksia → CCA ja kreosootti, joille kierrätyskohteita on hyvin rajoitetusti.

Toteutusaikataulu:

- Työpaketin 2 testausten yhteydessä

Työpaketti 5: Tutkimusdatan potentiaali päätöksenteossa

Toimenpiteet:

- Arvioidaan kyllästysaineiden ja modifiointimenetelmien toimivuutta lahotuskokeiden ja käytettyjen tuotteiden testauksen perusteella
- Analysoidaan tuotettua tutkimusdataa käytännön soveltamisen näkökulmasta
- Vertaillaan sähköpylväiden mittausdataa saatavilla olevaan tarkastus- ja mittausdataan
- Arvioidaan uuden tiedon hyödyntämispotentiaalia käytännön päätöksenteossa sähköverkkoyhtiöiden tasolla
- Pohditaan mahdollisuuksia kehittää kuntotutkimuksia ja kunnossapitoa tuotetun tiedon perusteella
- Arvioidaan kiertotalousliiketoiminnan kehittämisen mahdollisuuksia

Toteutusaikataulu:

- Projektin aikana

Valmistuu loppuraportin yhteydessä; aineistoa koottu, jäsentäminen

Kesän 2024 ilman suhteellinen kosteus ja lämpötila sekä arvoja vastaavat puun tasapainokosteudet

	Vaisala-sääasema		Vaisala-arvot käyrästöstä		Taulukko	
	Ilman suht. kosteus	Ilman lämpötila	u_{φ}	Muutos u_{puu}	u_{φ}	Ero käyrästöön
Huhtikuu	79,1	2,1	16,5	neutaali	16,0	0,5
Toukokuu	54,3	13,9	10,2	kuivumista	10,0	0,2
Kesäkuu	67,8	17,9	12,1	kuivumista	12,4	-0,3
Heinäkuu	72,9	19,3	13,1	kuivumista	13,4	-0,3
Elokuu	78,2	17,4	14,5	kuivumista	15,2	-0,7
Syyskuu	83,6	14,5	18,2	neutraali	18,2	0

Kesä 2025, pylvaiden varastointi ennen koestuksia ja koestusten aikana

Jokaisessa välissä oli 47 x 185 mm² soivot.

Peittely ennen alkukesän sateita 20.5.2025.

Taivutukset alkoivat 16.6.2025.

Peittely kun ei taivutettu → pylvää ei kastuneet missään vaiheessa kuin hieman päistä.



Kooste MOPUKO-hankkeessa koestettujen täysimittaisten puupylväiden tuloksista (7-15 m)

Syksyn 2023 ja kesän 2024 koestukset

Kyllästetyyppi	Kyllästysvuosi	Käyttöikä	Määrä [kpl]	Osuus pylväiden kokonaismäärästä	Taivutuslujuuden vaihteluväli [MPa]	Taivutuslujuus ¹ [MPa]	Kosteus ¹ [%]	Tiheys, u = 0 % ¹ [kg/m ³]	Tiheys, u = u _{pylväs} ¹ [kg/m ³]	Oksaryhmä murto- kohdassa [pylväs]	Kyllästyneen alueen suhteellinen osuus [%] ²
Kreosootti	1963-2013	10-58	35	21 %	12,7-63,1	31,8	19,7	499	732	1	
CCA-kylläste	1959-2006	18-65	41	25 %	22,0-52,9	34,0	21,2	459	640	2	
C-kylläste	2007-2021	2-16	89	54 %	27,1-60,1	41,4	22,4	493	818	7	60,1 %
2023-24 yhteensä	1959-2021	2-65	165	100 %	12,7-63,1	37,5	21,6	479	583	10	

Kesän 2025 koestukset

Kyllästetyyppi	Kyllästysvuosi	Käyttöikä	Määrä	Osuus pylväiden kokonaismäärästä	Taivutuslujuuden vaihteluväli [MPa]	Taivutuslujuus ¹ [MPa]	Kosteus ¹ [%]	Tiheys, u = 0 % ¹ [kg/m ³]	Tiheys, u = u _{pylväs} ¹ [kg/m ³]	Oksaryhmä murto- kohdassa [pylväs]	Kyllästyneen alueen suhteellinen osuus [%] ²
Kreosootti	2008-2010	13-65	4	4 %	27,2-42,9	37,4	29,9	529	687	1	
CCA-kylläste	1967-2003	18-58	35	33 %	17,7-60,2	44,1	15,2	462	532	1	62,0 %
C-kylläste	2013-2022	2-12	66	63 %	28,4-60,4	44,1	18,6	468	555	6	61,7 %
2025 yhteensä	1967-2022	2-65	105	100 %	17,7-60,4	43,9	17,9	469	553	8	62,1 %

Kaikki yhteensä

Kyllästetyyppi	Kyllästysvuosi	Käyttöikä	Määrä	Osuus pylväiden kokonaismäärästä	Taivutuslujuuden vaihteluväli [MPa]	Taivutuslujuus ¹ [MPa]	Kosteus ¹ [%]	Tiheys, u = 0 % ¹ [kg/m ³]	Tiheys, u = u _{pylväs} ¹ [kg/m ³]	Oksaryhmä murto- kohdassa [pylväs]	Kyllästyneen alueen suhteellinen osuus [%] ²
Kreosootti	1963-2013	10-65	39	14 %	12,7-63,1	32,4	20,7	500	603	2	
CCA-kylläste	1959-2006	18-65	76	28 %	17,7-60,2	38,6	18,4	459	543	3	
C-kylläste	2007-2022	2-16	155	57 %	27,1-60,4	42,6	20,8	478	578	13	
Kaikki yhteensä	1959-2022	2-65	270	100 %	12,7-63,1	40,0	20,1	476	572	18	

Keski-ikä kaikki	23
Minimi	2
Maksimi	65
Keskihajonta	20
Keski-ikä CCA	43
Keski-ikä kreos.	39
Keski-ikä Cu	8

¹) Keskiarvo

²) Kyllästyneen alueen osuus koko poikkileikkauksesta. Mitattu vain yhdestä kohtaa pylvästä eli läheltä murtokohtaa.

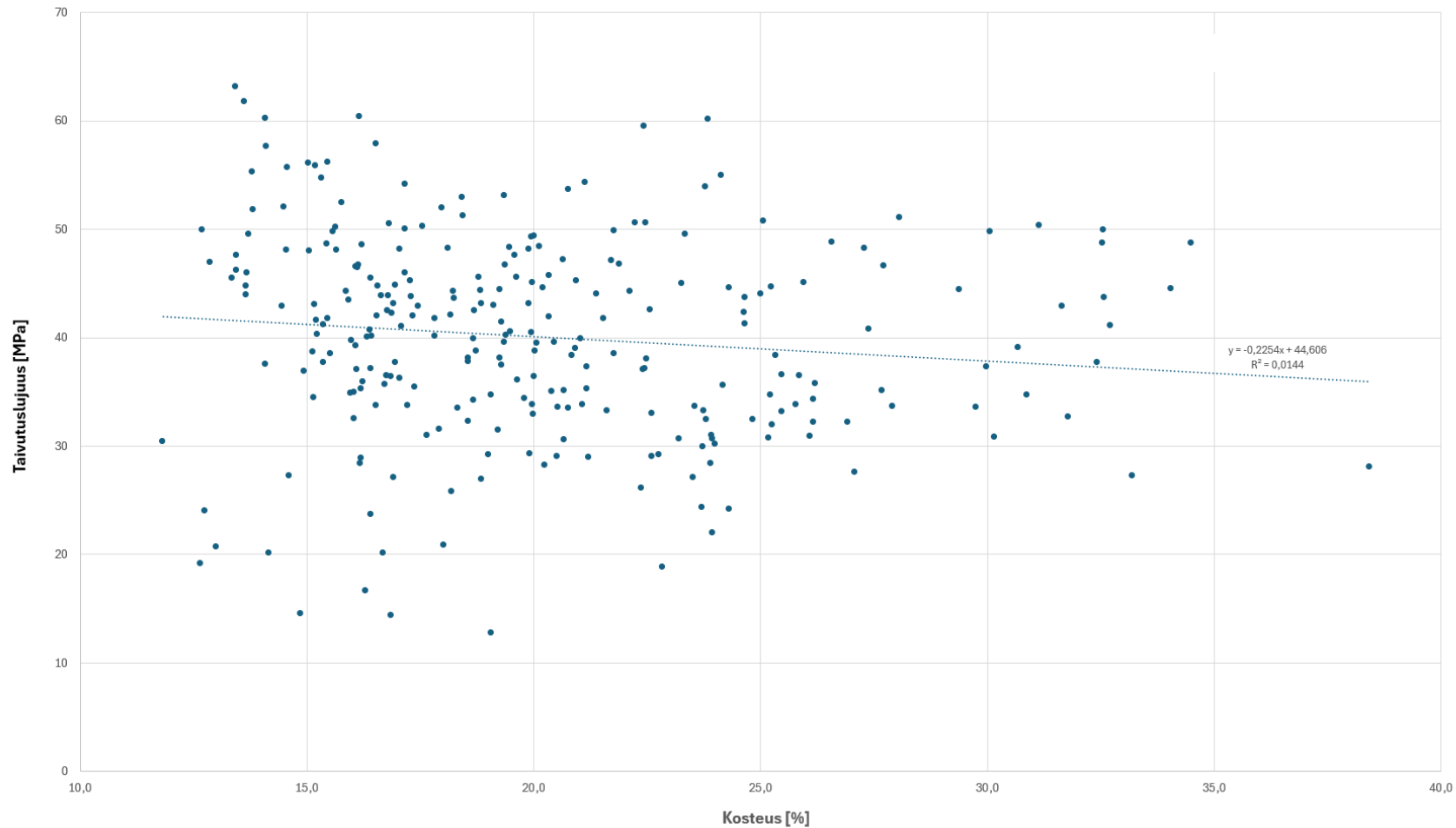
Tilastollisia arvoja testatuista pylväistä, n = 270 kpl

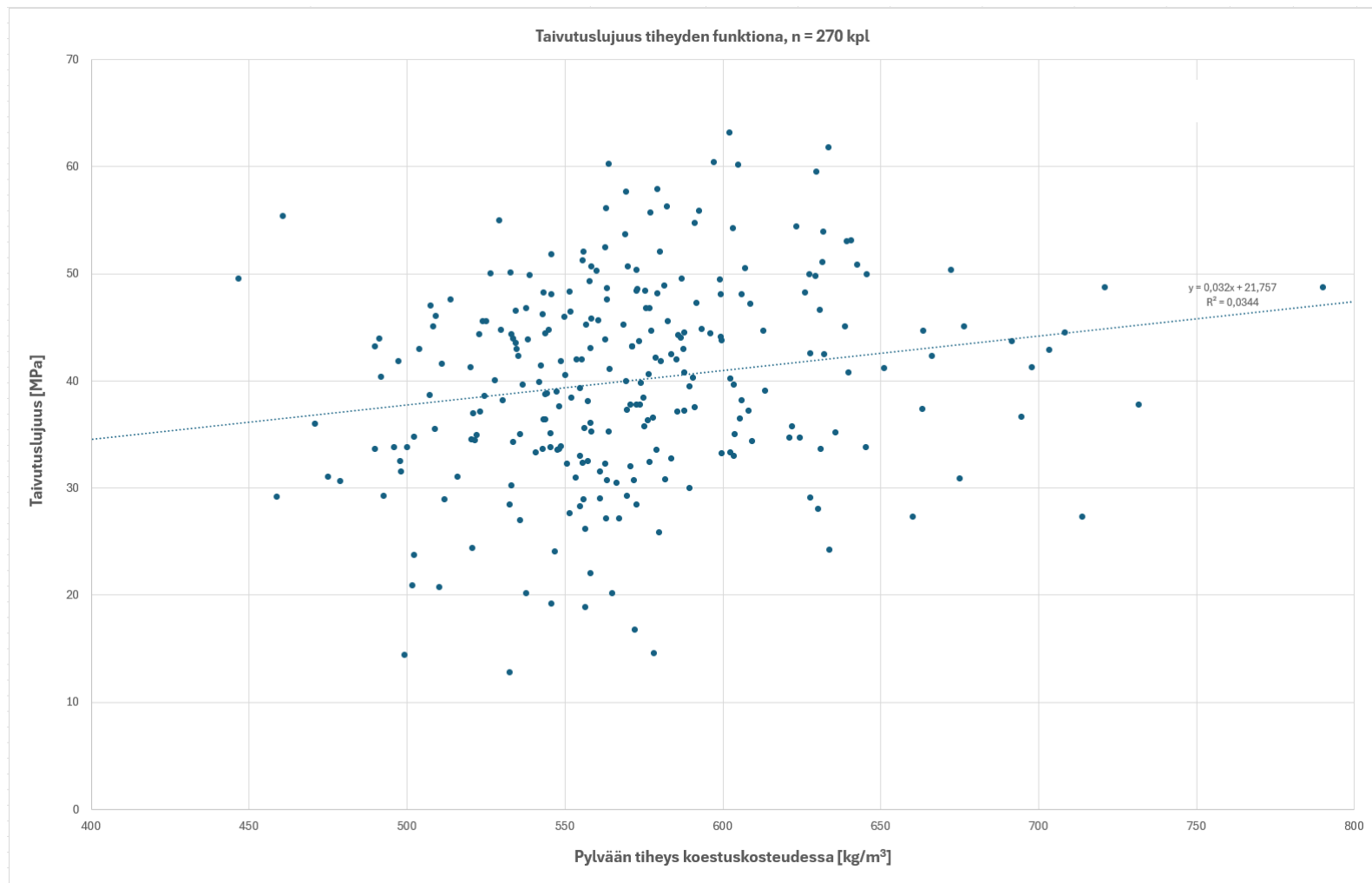
CV = 14,9 % → pieni
variaatiokerroin

Minimi-arvo
Maksimi-arvo

ID	Mass	Length of pole, l	Diameter at butt	Tip diameter	Fracture from the ground level	Volume of A+B+C A = butt B = middle section C = tip	Density [kg/m ³] Volume is in moisture content	Density u = 0 %	Moisture content	Years of Use	Q _{max}	Ultimate bending strength, fm (EN 14229)	Modulus of elasticity E with Δ30% EN 14229 E _{mean} =Σf/n	Modulus of elasticity E with Δ70% EN 14229	Relative proportion of impregnated area [%]
2023-25, n = 270 kpl															
Average	210	10519	262	169	948	0,368	571	475	20,1	23	5585	40,0	11549	9169	61,1 %
Min.	98	6960	197	115	-500	0,176	379	325	11,8	2	1486	12,7	6032	3714	23,6 %
Max.	564	15050	388	242	4860	0,835	818	671	38,4	65	14194	63,1	20362	13891	86,2 %
Standard deviation	73	1476	36	18	930	0,126	54	37	4,9	20	1737	9,4	2301	1683	12,0 %
2023-24, n = 165 kpl															
Average	222	10792	266	170	943	0,381	583	479	21,6	26	5289	37,5	10992	8741	60,1 %
Min.	98	8120	197	115	-500	0,187	459	386	11,8	2	1486	12,7	6385	3714	23,6 %
Max.	564	15050	387	242	4860	0,835	818	671	38,4	65	14194	63,1	20362	11962	85,9 %
Standard deviation	68	1431	35	16	977	0,114	54	39	4,9	21	1712	9,3	2165	1492	12,5 %
2025, n = 105 kpl															
Average	191	10091	255	168	955	0,347	553	469	17,9	18	6050	43,9	12425	9842	61,8 %
Min.	99	6960	202	132	-40	0,176	379	325	12,7	3	3506	17,7	6032	4636	25,6 %
Max.	463	13260	388	239	3850	0,819	714	536	33,2	58	12857	60,4	18425	13891	86,2 %
Standard deviation	76	1450	37	20	855	0,140	48	33	4,1	16	1682	8,1	2244	1750	11,7 %
Kupari, n = 155 kpl															
Average	205	10434	254	170	896	0,357	576	477	20,8	8	5787	42,6	11962	9420	60,8 %
Min.	111	6960	202	142	0	0,194	379	325	14,9	2	2985	27,1	6385	3714	23,6 %
Max.	418	14120	387	239	4450	0,787	818	671	34,5	17	12857	60,4	20362	13891	85,9 %
Standard deviation	69	1516	32	16	728	0,119	54	36	4,6	4	1625	7,0	2237	1603	12,7 %
CCA (suola), n = 76 kpl															
Average	207	10635	274	165	1284	0,380	543	459	18,4	43	5485	38,6	10935	8789	62,0 %
Min.	98	7900	205	115	-200	0,176	447	386	12,7	18	2942	17,7	6032	4636	45,6 %
Max.	463	15050	388	236	4860	0,819	640	540	29,7	65	10219	60,2	18425	13260	86,2 %
Standard deviation	77	1557	44	19	1221	0,141	37	31	4,1	9	1426	9,8	2326	1767	9,9 %
Kreosotti, n = 39 kpl															
Average	234	10630	266	173	499	0,388	603	500	20,7	39	4975	32,4	11104	8912	liian pieni otos
Min.	126	8140	197	143	-500	0,216	499	427	11,8	10	1486	12,7	6471	5094	liian pieni otos
Max.	564	13100	374	242	2750	0,835	732	576	38,4	61	14194	63,1	16012	12523	liian pieni otos
Standard deviation	79	1115	32	20	780	0,118	59	36	6,8	22	2467	11,9	2204	1689	liian pieni otos

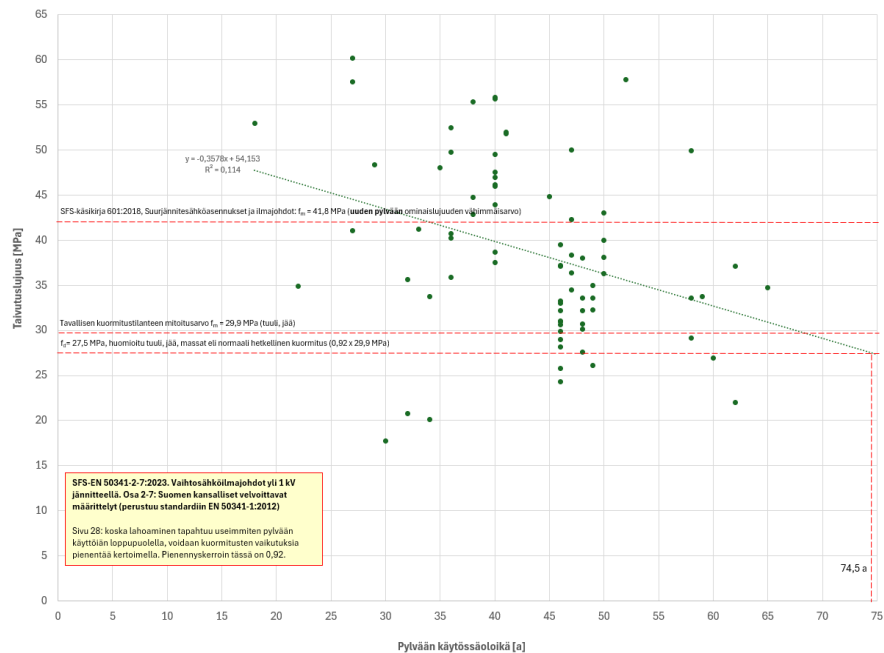
Taivutuslujuus kosteuden funktiona, n = 270 kpl



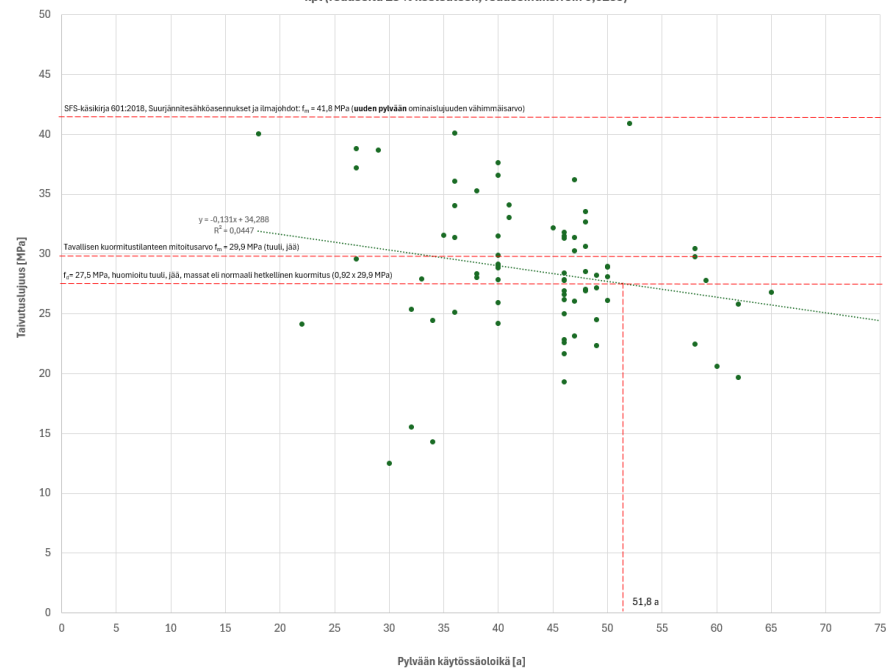


CCA-kyllästetyt, koko aineisto

CCA-kyllästetyn pylvään taivutuslujuus käyttöäolosuolien funktiona, n = 76 kpl (redusoimaton)

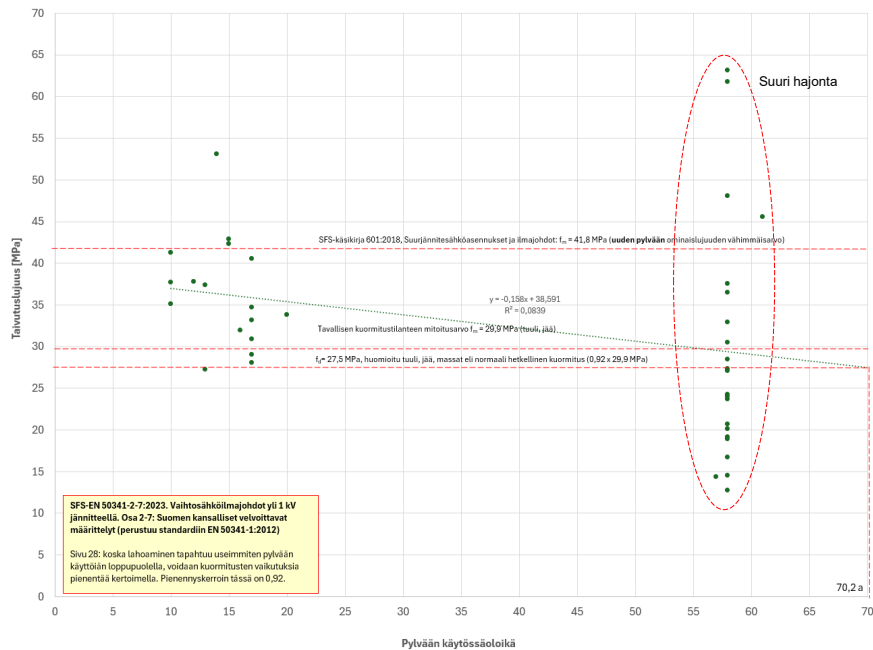


CCA-kyllästetyn pylvään taivutuslujuus käyttöäolosuolien funktiona, n = 76 kpl (redusoitu 28 % kosteuteen, redusointikerroin 0,0255)

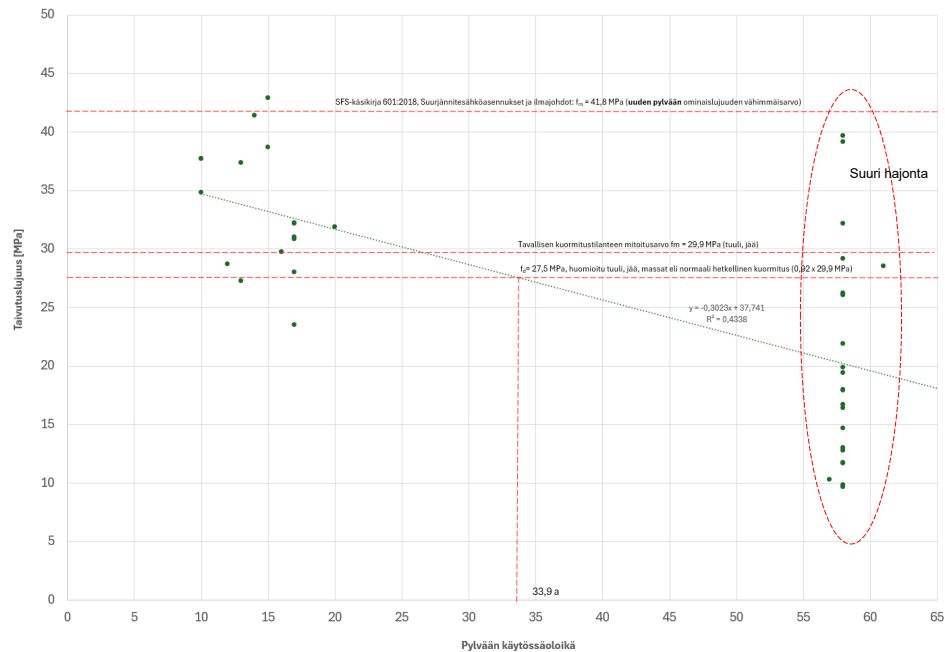


Kreosootti, koko aineisto

Kreosoottikyllästettyjen pylväiden taivutuslujuus käytössäoloajan funktiona, n = 39 kpl (redusoimaton)

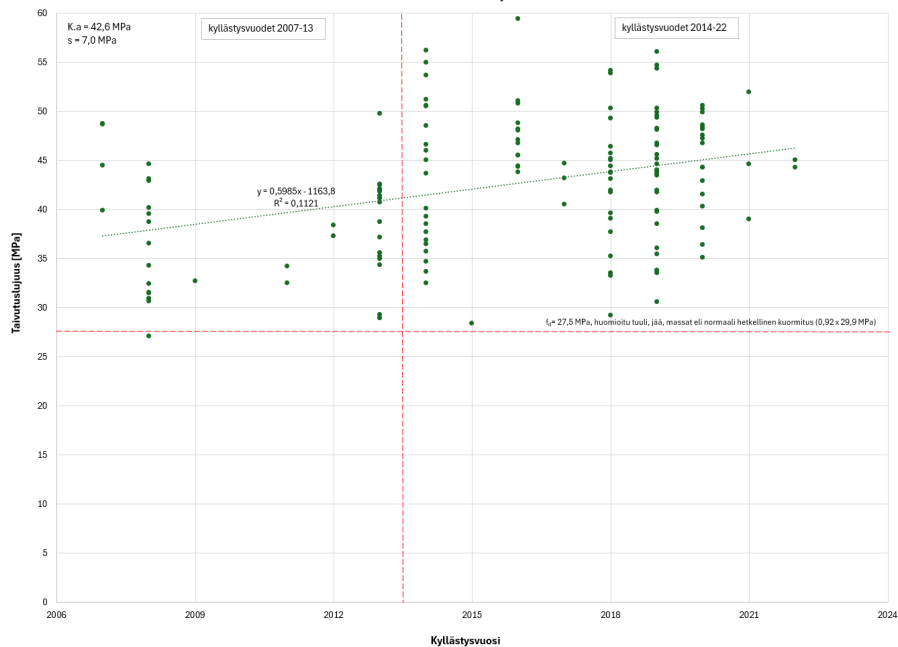


Kreosoottikyllästettyjen pylväiden taivutuslujuus käytössäoloajan funktiona, n = 39 kpl (redusoitu 28 % kosteuteen, redusointikerroin 0,0255)

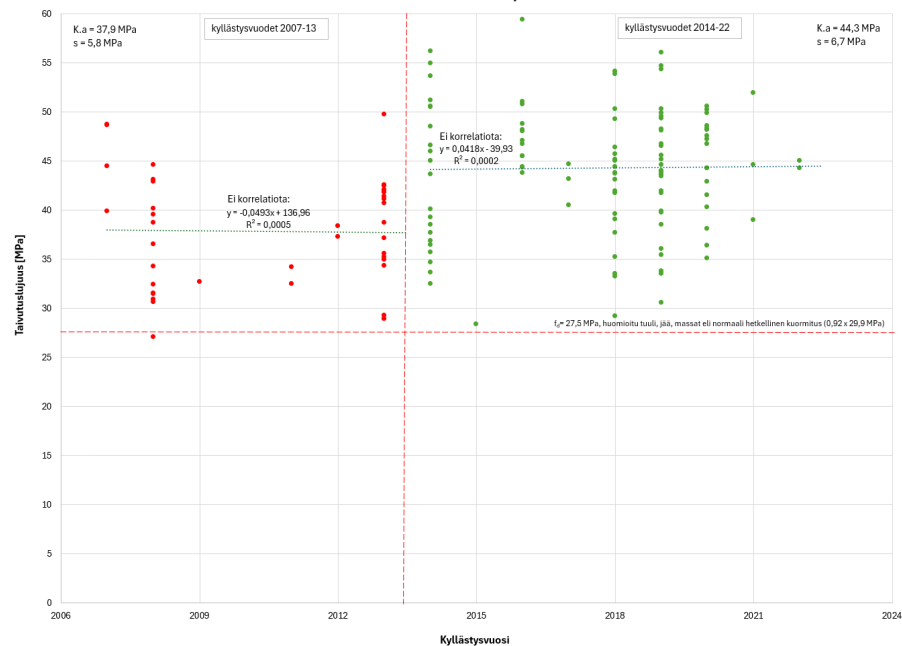


Cu-kyllästetyt eri ajanjaksoina, koko aineisto

C-kyllästettyjen pylväiden taivutuslujuus kyllästysvuoden funktiona, n = 155 kpl
Yhtenäinen sarja



C-kyllästettyjen pylväiden taivutuslujuus kyllästysvuoden funktiona, n = 155 kpl
Jako kahdeksi sarjaksi



Cu-kyllästeen
pylväskohtaiset
huuhtoumat

Tunnus	Kyllästysvuosi	kyllästysvuosi	Kylläste	NTR vaatimus ko aineelle	Kupari(Cu) analyysi		Maaperä (vaikuttaako huuhtoumaan)	Pylvään käyttöikä	Ultimate bending strength, (EN 14229)	16
meta	meta	lätkästä	lätkästä	kg/m3	g/kg	Kommentit				
1	19-3618356	2014	14	CX-8	22	3,74	ok	Pelto	10	43,7
2	26-3712762	2014	14	CX-8	22	3,41	Rajoilla, tarjasta lujuus	Metsä	10	45,0
3	8-3526537	2014	kulunutlätkä? 14	C (CX-8 tai C4)		3,69	ok	Metsä	10	46,6
4	20A-3756065	2014	14	CX-8	22	5,34	ok	Pelto	10	50,6
5	17-3720468	2014	14	CX-8	22	1,81	Mahdollisesti huuhtoumaa, tarkasta lujuus	Pelto	10	54,9
6	3785873	2016	16	CX-8N	18	2,3	Mahdollisesti huuhtoumaa, tarkasta lujuus	Tien laita	8	43,8
7	5352851	2016	16	CX-8N	18	4,19	ok	Tien laita	8	44,3
8	16	2016	16	CX-8N	18	4,08	ok	?	7	44,4
9	3495426	2016	16	CX-8N	18	3,91	ok	Tien laita	8	45,5
10	3612202	2016	16	CX-8N	18	3,54	ok	Tien laita	8	48,0
11	4	2016	16	CX-8N	18	4,41	ok	?	7	48,2
12	3	2016	16	CX-8N	18	3,77	ok	?	7	51,0
13	34-3541389	2017		C4	20	6,22	reilusti yli keskiarvon, ok	Tien laita	7	40,5
14	6339616	2018	18	CX-8	18	2,76	Mahdollisesti huuhtoumaa, tarkasta lujuus	Pelto	6	39,6
15	6339611	2018		C4	20	4,64	keskiarvossa, ok	Metsä	6	42,0
16	6339773	2018	18	CX-8	18	3,18	ok	Metsä	6	44,4
17	6339823	2018	18	CX-8	18	3,35	ok	Tien laita/Pelto, ruohikko	6	45,0
18	6339367	2018	19	C4	20	4,83	keskiarvossa, ok	Pelto	6	45,2
19	6339332	2018		C4	20	2,94	Mahdollisesti huuhtoumaa, tarkasta lujuus	Metsä	6	49,3
20	1	2018	18	CX-8	18	3,84	ok	?	5	50,3
21	6339683	2018	18	CX-8	18	4,06	ok	Pelto, ruohikko	6	53,9
22	20	2019	Ei lätkäkuvaa?			4,21		Metsä	4	38,5
23	45-8563667	2020	20	C4	20	4,51	keskiarvossa, ok	Tien laita	4	42,9
24	38-5863671	2020	20	C4	20	4,24	Mahdollisesti huuhtoumaa, tarkasta lujuus	Metsä	4	44,2
25	49-8563675	2020	20	C4	20	4,92	keskiarvossa, ok	Metsä	4	46,8
26	39-8563670	2020	20	C4	20	4,25	Mahdollisesti huuhtoumaa, tarkasta lujuus	Metsä	4	47,2
27	37-8563672	2020	20	C4	20	4,81	keskiarvossa, ok	Tien laita	4	47,5
28	27-8563635	2020	20	C4	20	4,36	Mahdollisesti huuhtoumaa, tarkasta lujuus	Tien laita	4	48,3
29	44-8563668	2020	Ei lätkäkuvaa?			3,86		Pelto	4	50,6
30	31-8067152	2021	21	Tan E	20	4,78		Tien laita	3	44,6
31	14A-146149266	2016	14	CX-8	22	1,73	Lahoa, Mahdollisesti myös huuhtoumaa	Tuntematon		
32	435373A	2011	Ei lätkää			6,85	Lätkä tippunut. Näkyy kuvassa tyhjä paikka.	Tien laita	13	32,5
33	OK57	2008				4,23		Talouismetsä	16	27,1
34	394962	2013	13	Tanalith E	16	4,27		Tien laita	11	28,9
35	378923	2013	Ei lätkäkuvaa?			4,98		Tien laita	11	28,9
36	440639	2013	Ei lätkäkuvaa?			3,83		Tien laita	11	29,2
37	6339584	2018	Ei lätkäkuvaa?			0,87	Vajaa! Vaikka ei tarkkaa tietoa kyllästeestä.	Metsä	6	29,2
38	OKS8	2008		CX-8	22	4,16	ok	Talouismetsä	16	30,6
39	OKS6	2008				3,07		Suoalue	16	30,9
40	OKS1-M4364	2008				2,59		Talouismetsä	16	31,4
41	OKS4	2008		CX-8	22	2,73	Mahdollisesti huuhtoumaa, tarkasta lujuus	Talouismetsä	16	31,5
42	18-3716271	2014				4,84		Puutarha	10	31,5
43	OKS3	2008	kulunut lätkä	CX-8		3,77	ok	Talouismetsä	16	32,4
44	16A-3642913	2014	14	CX-8	22	4,62	ok	Pelto	10	32,5
45	6339690	2018	18	CX-8	18	3,3	ok	Metsä/muu maasto	6	33,5
46	21-3662795	2014	Ei lätkäkuvaa?			4,71		Pelto	10	33,6
47	OKS2	2008	2007	CX-8	22	3,38	Mahdollisesti huuhtoumaa, tarkasta lujuus	Talouismetsä	16	34,3
48	15A-3660868	2014	14	CX-8	22	2,76	Mahdollisesti huuhtoumaa, tarkasta lujuus	Pelto	10	34,7
49	6339777	2018	18	CX-8	18	4,06	ok	Metsä	6	35,2
50	50-8563674	2020	20	C4	20	5,31	reilusti yli keskiarvon, ok	Metsä	4	35,1
51	14B-3632303	2014	14	CX-8	22	1,63	Mahdollisesti huuhtoumaa, tarkasta lujuus	Puutarha	10	35,7
52	48-8563676	2020	20	C4	20	3,41	Mahdollisesti huuhtoumaa, tarkasta lujuus	Metsä	4	36,4
53	25-3599505	2014	14	CX-8	22	4,23	ok	Pelto	10	36,4
54	OKS5	2008	kulunut lätkä	CX-8	22	2,54	Mahdollisesti huuhtoumaa, tarkasta lujuus	Suoalue	16	36,5
Kaikkien keskiarvo						3,85				

Havaintoja & huomioita

- 280 pylvästä vain 2 kpl katkesi latvasta. Vedon kiinnityskohta oli 15 pylvästä lukuun ottamatta 150 mm latvasta → visuaalisesti latva voi olla hyvinkin huonokuntoisen näköinen, mutta se kestää silti
- Tikankoloilla ei ollut juurikaan vaikutusta lujuuteen
- Myöskään asennuskolot/-reiät eivät näyttäisi vaikuttavan merkittävästi
- 270 pylvään otoksessa oksaryhmien vaikutus oli pieni → *onnistunut lajittelu*? Oksat ovat merkittävin sahatavaran lujuutta heikentävä tekijä, mutta niiden merkitys pylväissä on vähäisempi
 - poikkileikkaus ympyrä, joka vahvimpia profileja → lujuustarkastelun kannalta eri asia kuin sahatavaran suorakaide
 - Oksavaikutus on isossa kappaleessa pienempi kuin pienemmässä
 - Taivutuksessa maksimijännitykset esiintyvät puun pinnassa, jolloin sisälle jääneiden oksien merkitys lujuuteen on erittäin pieni.
- Puun kosteuden vaikutus lujuuteen oli yllättävän pieni kosteusvälillä 12 – 24 %, jossa kosteudessa suurin osa pylväistä oli (n = 218 kpl, 81 %)
- Laho suurin puun lujuutta heikentävä tekijä
- Jo nyt on havaittavissa, että hetkelliset tuulikuormat ovat voimakkaampia kuin aiemmin, myös sisämaassa



Suurin Suomessa mitattu keskituulen nopeus merellä

Suurin Suomessa mitattu 10 minuutin keskituulen nopeus merellä on 33,5 m/s. Se mitattiin Rauman Kylmäpihlajan havaintoasemalla **1.11.2024**. Tämä on ensimmäinen kerta, kun Suomen meriasemilla on mitattu 10 minuutin keskituulena hirmumyrskyn nopeutta (vähintään 33,0 m/s). Edellinen ennätys 32,5 m/s on mitattu Kökarin Bogskärin havaintoasemalla **2.1.2019**.

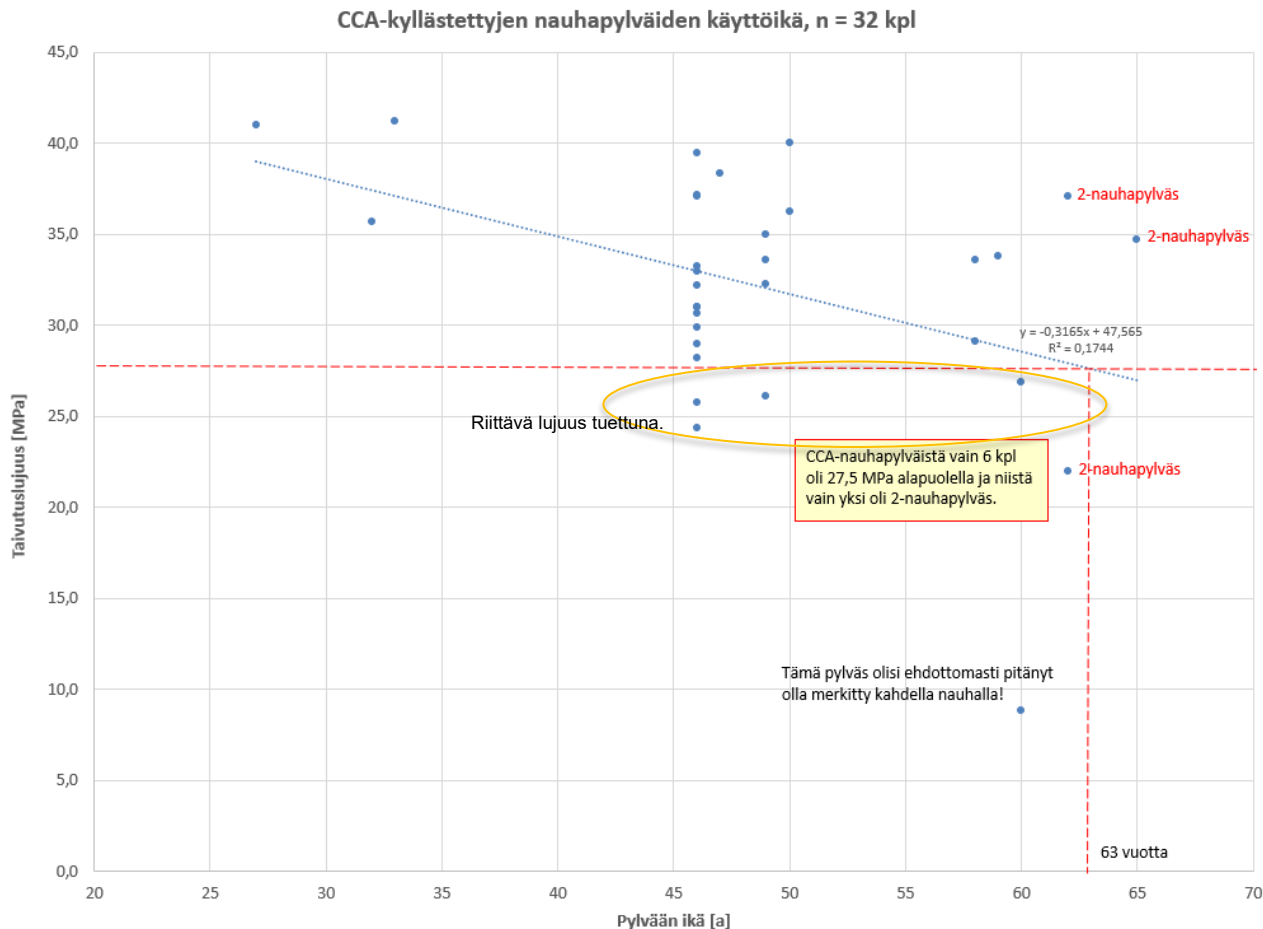
Myrsky on voimakas tuuli, jonka tuulennopeus on Suomessa käytetyn myrskymääritelmän mukaan vähintään 21 metriä sekunnissa; erityisesti myrskyllä tarkoitetaan 21–32 metriä sekunnissa puhaltavia tuulia.

1- ja 2-nauhapylväiden lujuus

Joidenkin tutkimusten mukaan RJ33-tarkastusmenetelmä liioittelee lujuuden heikkenemistä. Toisaalta parempi näin päin.

Samansuuntainen havainto tuli esille Xamk:n testauksissa. Tosin nauhapylväiden otoskoko ei ole suuri, $n = 32$ kpl.

Oletus, että on käytetty RJ33-tarkastusmenetelmää.



Esimerkkejä kuormien vaikutuksista puupylväisiin

Uusien, männystä valmistettujen puupylväiden ominaislujuuden vähimmäisarvo $f_k = 41,8$ MPa

Materiaalin osavarmuustekijä $\gamma_M = 1,40$ (sisältää tuulen, jään ym. massat eli tavallinen kuormitusilanne), josta seuraa, että sovellettava mitoitusjännitys $f = 41,8 \text{ MPa} / 1,4 \approx 29,9$ MPa

Standardin SFS EN 50341-2-7 (s. 28) pienennetty materiaalikerroin k_{mod} on 0,92, josta saadaan:

$$\sigma_d \leq f_d = k_{mod} \cdot \frac{f_k}{\gamma_M}$$

missä

σ_d = mitoituskuorman aiheuttama jännitys

f_d = materiaalin mitoituslujuus

k_{mod} = aika- ja käyttöluokan muunnoskerroin

f_k = materiaalin ominaislujuus

γ_M = materiaalin osavarmuustekijä

TAULUKKO 15. Kotimaan pylväskoot

Luokka	Pituus m	Latva mm	Tyvi mm	Koodi	Luokka	Pituus m	Latva mm	Tyvi mm	Koodi
1	7	130	160	107	2	7	150	170	207
1	8	130	170	108	2	8	150	180	208
1	9	130	180	109	2	9	150	195	209
1	10	130	190	110	2	10	150	205	210
1	11	130	190	111	2	11	150	215	211
1	12	130	200	112	2	12	150	225	212

$f_d = 0,92 \times 41,8 \text{ MPa} / 1,40 \approx 27,5$ MPa, joka on käytetyn pylvään lujuus, jonka jäljellä olevan käyttöiän oletetaan olevan 30 vuotta.

Tässä esimerkki 11-metriseen 2-luokan pylvääseen vaikuttavista vaakasuuntaisista voimista, joilla saavutetaan 18, 27,5 ja 29,9 MPa taivutuslujuus, maahan upotus 1,5 m:

Mikpolis	Length of pole, l	Distance from but to ground line	Distance from ground line to loading point, L	Diameter at butt	Diameter at ground line d_g	Diameter at point of load d_q	Tip diameter	Q_{max}	Ultimate bending strength, f_d
Specimen	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[N]	[MPa]
Luokka II-11m, $f_d = 18,0$ MPa (Vahvavirtailmajohdot A4 1993, voimasa 209 asti)	11000	1500	9350	215	200	155	150	1520	18,095
Luokka II-11m, $f_d = 27,5$ MPa (standardit SFS-EN 50341-1 (2014) ja SFS-EN 50341-2-7)	11000	1500	9350	215	200	155	150	2310	27,500
Luokka II-11m, $f_d = 29,9$ MPa (sähköpuupylvään yleinen sovellettava mitoitusjännitys)	11000	1500	9350	215	200	155	150	2510	29,881

Muuttuvat kuormat:

Esim. mies varusteineen pylväässä + tuuli

Esim. mies pylväässä raskain varustein + kova tuuli + jää



Nopeampi lahotarkastusmenetelmä....

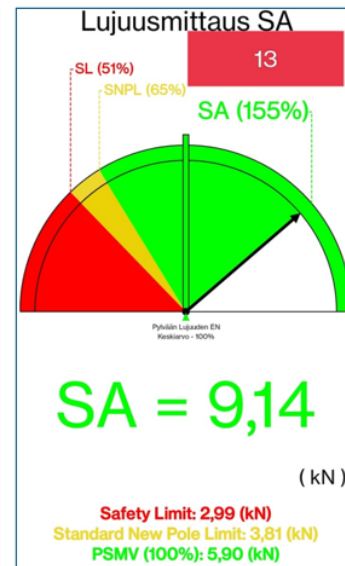
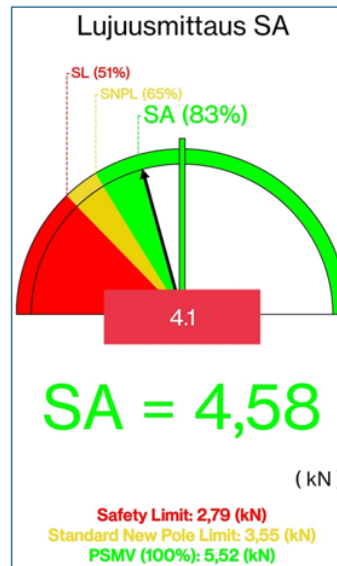
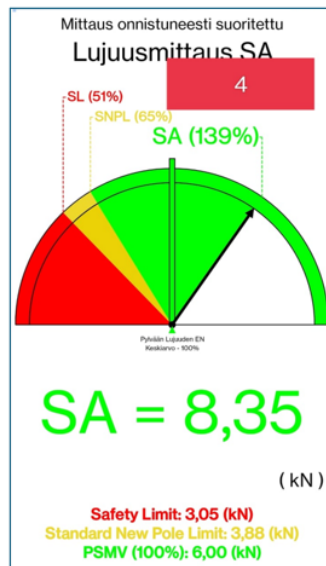
Xamk-ID	JSE-ID	Koestus Q_{max}	Karri Q_{max}	Q_{max} -arvojen poikkeama
4	808	7423	8350	12 %
4.1	807	7263	4580	-37 %
13	819	5943	9140	54 %

Italialaisvalmisteinen CXI-PT5500 mittalaite, joka analysoi taajuusvärähtelystä puupylvään lujuuden. Mitattu lujuusarvo kertoo pylvään kunnon sekä turvallisuuden.

Toteutettiin 20.3 mittausseisio, jossa värähdysmitattiin 11 kpl CCA-kyllästettyjä pylväitä. Mittaus olisi pitänyt tehdä sulan maan aikaan, mutta siihen ei ollut mahdollisuutta.

Värähdysmitatut pylväät oli tarkoitus koestaa Xamkilla ja saatuja tuloksia verrata värähdysmittauslaitteen tuloksiin. Valitettavasti vain kolme pylvästä päätyi testaukseen.

Kolme tulosta, joissa kaksi isoa heittoa, joista yhdessä heitto vaaralliseen suuntaan (5 943 N vs. 9 140 N).



Euroopan unionin
osarahoittama



Elinkeino-, liikenne- ja
ympäristökeskus



Tagin hyväksikäyttö tiedonvälityksessä

Lahoisuustarkastus tehdään vielä nykyisinkin hyvin perinteisillä menetelmillä. C-kyllästeisten pylväiden kriittinen 27,5 MPa arvo saavutetaan noin 30 vuodessa, jolloin valvontaa tulisi tehostaa. Tämän jälkeen pylväät tulisi olla jatkuvassa seurannassa.

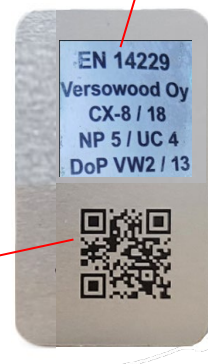
Kaikkien pylväiden tarkastaminen säännöllisesti ei ole mahdollista tarkastuksen hitauden ja kustannusten vuoksi.

Jos pystymme asettamaan pylväät ”paremmuusjärjestykseen” huomioiden maaperä, perustamistapa ja aluekohtaisuus (esim. pelto), tarkastukset pystytään kohdentamaan niihin pylväisiin, jotka ovat riskialtteimmat. Tällöin lähdetään olettamuksesta, että jos nämä pylväät ovat toimintakuntoiset, myös muut pylväät ovat → **seuranta helpottaa pylväiden kunnan seuranta pilvipalvelun kautta:**

Tagi, jossa on pylväskohtainen QR-koodi, joka tekee pylvään seurannan mahdolliseksi toimittajalta linjan pystytykseen asti → pylväsdataa saadaan suoraan sähköyhtiön järjestelmään.

Suojakäsittelyllä (UV-säteilyn esto) pylvään data on luettavissa QR-koodin avulla myöhemminkin. Tagin avulla on mahdollista myös tarkastusdatan välittäminen sähköyhtiön tietojärjestelmään suoraan sähkölinjalta tai kääntäen, hakea päätelaitteelle k.o pylväälle kirjattu data.

Tagi voi luonnollisesti sisältää pylvään näkyvät pakolliset tiedot.



Systeemi maksaa, mutta kustannuslaskennalla on selvitettävissä, onko nykytoiminta kalliimpaa kuin tässä esitetty suoraviivainen toiminto ja sen aiheuttamat kulut.



Tunne huominen - All for the future.