

Rakennusalan täyden palvelun tietotalo

Rakennustieto Oy edistää hyvää rakennustapaa ja tuottaa rakentamisesta luotettavaa tietoa. Puolueettoman ja asiakaslähtöisen Rakennustieto Oy:n tuotteet kattavat rakentamisen koko elinkaaren suunnittelusta ylläpitoon. Yhtiön omistaa Rakennustietosäätiö RTS.

Tutustu palveluihimme

> rakennustieto.fi/rk/palvelut

Rakentajain kalenterin artikkelit

Tämä artikkeli on julkaistu alun perin Rakentajain kalenterissa, jota ovat julkaisseet Rakennustietosäätiö RTS sr ja Rakennusmestarit ja -insinöörit AMK RKL ry.

Julkaisu oli rakennusalan ammattilaisten ja opiskelijoiden käsikirja, joka yhdisteli teoriaa ja käytäntöä sekä kannusti hyvään rakentamiseen. Artikkelin vasemmassa reunassa olevasta vesileimasta näkee ko. Rakentajain kalenterin vuosikerran.

> [Artikkeliarkisto, kokoelma vuosien 1997–2018 Rakentajain kalenterissa julkaistuja artikkeleita](#)

Puurakenteiden kestoikä

Hannu Viitanen, FT
Erikoistutkija, VTT
hannu.viitanen@vtt.fi

Tiivistelmä

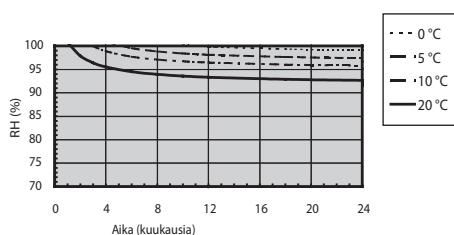
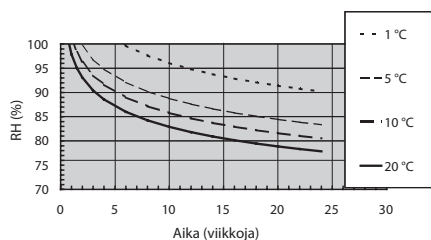
Kestävyys ja kestoikä on hyvin laaja kokonaisuus. Puurakenteiden ja puutuotteiden, kuten myös lähes kaikkien rakennusmateriaalien, kestävyys on ja kestoikä, vaikuttavat hyvin monet tekijät samanaikaisesti, mutta merkittävimmin ympäristöstä johtuvat, etenkin vesi eri muodoissaan sekä biologiset tekijät, kuten home, laho ja hyönteiset. Veden vaikutusta puurakenteisiin pyritään rajaamaan eri keinoin: ottamalla huomioon puumateriaalin, pintoitteen tai suoja-aineiden ominaisuudet, rakenteiden suunnittelu ja toteutus, lähiympäristön suojaava tai altistava vaikutus ja säärasitukset (kosteus, sade, tuuli, auringon säteily), biologiset tekijät (home, laho, hyönteiset) sekä käyttöolot ja huolto. Puun suojauksessa kestävyys on usein rajattu biologiseen kestävyys, mutta rakentamisen osalta ja EU:n rakennustuotedirektiivin kannalta kyseessä on laajempi käsite. Toki puutuotteiden kestävyys kannalta biologiset rasitukset (mikrobit, home, laho, hyönteiset) ovat merkittäviä, mutta kestävyys- ja kestoikä tarkastelussa tulee ottaa huomioon myös monet muut tekijät. Suunnittelun kannalta kestoikää tarkastellaan eri lähestymistavoilla ja käsitteet makro-, meso- ja mikroilmasto kuvaavat ympäristötekijöiden, rakenteiden ja materiaalien yhteisvaikutusta rakennuksen kosteuskuormitukseen. Rakenteiden yksityiskohtien suunnittelu on tärkeää, etenkin ankarammissa kosteuskuormitusoloissa. Materiaalien ja suojauksen valinnalla vaikutetaan tuotteiden kestävyys eri rakenteissa ja käyttöoloissa. Huoltoa ja korjausta ei pidä myöskään unohtaa, sillä on usein merkittävin rooli rakenteiden kestävyys ja kestoikä parantamisessa.

Puurakenteiden kestävyysperusteet

Rakenteet ja käyttöolot

Perinteisesti puutuotteet ja puurakenteet on tarvittaessa suojattu säätä, homea ja lahota vastaan ns. rakenteellisella suojauksella, puumateriaalin valinnalla sekä kemiallisesti erilaisilla kyllästysprosesseilla ja pintakäsittelyillä. Esim. julkisivuissa on perinteisesti käytetty kuusta, jonka suojauksessa on käytetty erityyppisiä maaleja. Normaleissa käyttöoloissa tämä on ollut riittävä, kun rakenteet ja rakenteelliset yksityiskohdat on oikein suunniteltu ja toteutettu. Rakenteellinen suojaus tarkoittaa, että rakenteet pysyvät mahdollisimman kuivina niin, että kosteus, säärasitus tai biologiset vaurioitumisprosessit eivät pääse puuta pilaaamaan tai riski on mahdollisimman pieni. Tämä tarkoittaa, että rakenteissa ei ole vettä kerääviä yksityiskohtia ja että rakenteet pääsevät tilapäisen kostumisen jälkeen kuivumaan riittävän nopeasti niin, että vaurioitumista ei ehdi tapahtua.

Keskeinen lähtökohta kestävyystarkastelussa ovat käyttöolosuhteet. Käyttöoloja kuvaava standardi EN 335 antaa yleiskuvan puurakenteisiin kohdistuvista biologisista rasituksista eri käyttöoloissa (käyttöluokkien määrittäminen). Käyttöluokassa 1 puu on kuivassa sisätilassa, jossa normaalioloissa ei biologista rasitusta esiinny. Tiloissa, joissa on ajoittaista kosteuskuormaa (käyttöluokka 2), voi tulla ongelmia homeesta ja sinistymästä, etenkin kosteissa ilmasto-oloissa myös hyönteisistä ja lahosta. Maan pinnan yläpuolisissa, ulkona säälle alttiissa käyttökohteissa (käyttöluokka 3) rasitusolosuhteet ovat hyvin laajat ja monitahoiset, ja kestävyysvaatimukset vaihtelevat. Se on rakenteiden kestävyys peruste.



Kuva 1. Homeen kehittymisen ja lahoamisen kriittiset kosteus- ja lämpöolot.



Kuva 2. Home ja sinistymä kehittyvät kun ympäristön ilman kosteus on riittävä ja puuhun kehittyy värivikaa (vasemmalla). Laho kehittyi, kun puurakenteeseen kertyy vettä, jolloin myös puun lujuus heikkenee (oikealla).

nalta haastavin käyttötilanne. Teollisesti kyllästetty puu on tarkoitettu ankaariin rasitusoloihin (esim. käyttöluokka 4: maakosketusolot) ja käyttöluokassa 3 kyllästettyä puuta käytetään etenkin aidoissa, parvekkeissa, terasseissa ja puutarhakenteissa.

Yleisenä ohjerajana biologisten vaurioiden välttämiseksi on, että materiaalien mikroilmaston tai huokosilman pitkäaikainen suhteellinen kosteus pysyy alle 75–95 % RH (lämpötilasta, sijainnista ja kestoajasta riippuen). Käytännössä puun osalta raja vastaa alle 20 % vettä laskettuna puun kuivapainosta. Tämä raja-arvo tarkoittaa kestävyyttä yleensä, ja lahon kehittymisen kannalta puun kosteuden raja-arvo on yli 25–30 % vettä puun kuivapainosta tai ilman suhteellinen kosteus puun huokosissa yli RH 95 % vastaava (kuva 1). Biologiset rasitukset ovat normaalisti peräisin pääasiassa ympäristöstä, mutta esim. kosteusvauriotapauksissa voivat virheelliset rakenteet, puutteelliset kosteus- ja vesieristeet sekä etenkin vuotavat vesi- ja viemäriputket olla syynä lyhentyneeseen kestoikään (kuva 2).

Puun materiaaliominaisuudet kestävyys- den ja käyttöiän kannalta tarkasteltuna

Puu on luonnon materiaali ja puumateriaalin luontainen kestävyys vaihtelee sekä puulajien että yksittäisten tuote-erien välillä. Puulajien luontainen kestävyys on luokiteltu standardissa EN 350-2. Luokitus perustuu ankarissa rasitusoloissa (maakosketus, altistuskokeet lahottajasieniä ja hyönteisiä vastaan) saatuihin tuloksiin. Tämän vuoksi luokituksen tieto puulajien luontaisesta kestävyyydestä on vain suuntaa antavaa, eikä se ole tarkoitettu sovellettavaksi kaikissa käyttöoloissa. Lievissä käyttörasituksissa puun luontaisella kestävyydellä ei ole ratkaisevaa merkitystä kestoille. Luokitus antaa kuitenkin pohjan kestävyystarkastelulle ja tarvittavan suojauksen arviointiin yhdessä käyttöluokkatarkastelun kanssa (taulukko 1). Luokituksessa puulajit luokitellaan kestävyysasteen 5 luokkaan. Jokaisen luokan ja puulajin sisällä on kuitenkin vaihtelua, ja kestävyysasteen sekä vaatimusten suhteen optimoi-

Taulukko 1. Puun eri kestävyysluokkien käytettävyyksi eri käyttöluokissa (EN 460:1994).

Käyttöikä	Käyttöolokuvaus (EN 335)	Puun kestävyysluokka (EN 350-2)				
		1	2	3	4	5
1	Sisätila, kuiva	0	0	0	0	0
2	Ulkona, säältä suojattu	0	0	0	(0)	(0)
3	Ulkona, säälle altis	0	0	(0)	(0)–(X)	(0)–(X)
4	Maakosketus	0	(0)	(X)	X	X
5	Valtamerikosketus	0	(X)	(X)	X	X
0	Puun luontainen kestävyys riittävä					
(0)	Puun luontainen kestävyys normaalisti riittävä, mutta joissakin käyttökohteissa puun suojaus tarpeen (pintakäsittely usein riittävä suojaus)					
(0)–(X)	Puun luontainen kestävyys voi olla riittävä, mutta puulajista riippuen puun suojaus voi olla välttämätön (suojausmenetelmä voi vaihdella: kyllästys, pintakäsittely).					
(X)	Puun suojaus (kyllästäminen) on normaalisti tarpeen, mutta joissakin käyttöoloissa, puun luontainen kestävyys voi olla riittävä					
X	Puun kyllästäminen on välttämätöntä					

tu luokitus antaa lisää mahdollisuuksia tuotteiden käytölle ja kestävyydelle erilaisissa rakenteissa ja käyttöoloissa.

Puun säilyvyyteen liittyvät ominaisuudet ja lahonkestävyyden perustuvat puun solurakenteeseen ja kemialliseen koostumukseen. Puun vedenläpäisevyys, ts. se, kuinka paljon ja kuinka nopeasti puuhun imeytyy vettä, on tärkeä, ehkä tärkein puun kestävyyyteen vaikuttava tekijä olosuhteissa, joissa puuhun kohdistuu vain ajoittaista kosteuskuormitusta. Puun vedenläpäisevyydellä tarkoitetaan veden pääsyä puun solukkoon ja puun kostumisnopeutta, mutta läpäisevyys ei yleensä riipu puun tiheydestä. Männyn pintapuu on kuivanakin hyvin läpäisevä, vaikka sen tiheys on keskimäärin suurempi kuin sydänpuussa. Sydänpuussa puun solukko ja etenkin huokokset ovat polymeroituneiden uuteainien vaikutuksesta sulkeutuneet. Tuoreella kuusella puun läpäisevyys on suhteellisen hyvä, mutta puun kuivussa sulujen huokoskalvot sulkeutuvat niin, että kuusi ei kunnolla läpäise vettä kovillakaan nestepaineilla. Tämä on usein peruste kuusen valinnaksi julkisivumateriaaliksi.

Puun suojaus ja pintakäsittely

Pintakäsittelyn tarkoitus on suojata puuta kosteutta ja pintaan vaikuttavista biologisista rasituksista (home, sinistymä, levät, laho) vastaan, ja lievemmissä rasitusoloissa (esim. julkisivut) tämä on yleensä riittävä suojaustapa. Puumateriaalin valinnassa pitää ottaa huomioon puun luontainen kestävyys, puun laatu, pinnoitettavuus, suojattavuus, rakenteen toimivuus ja siihen kohdistuvat kuormitukset. Kestävyyden edellytyksenä on, että etukäteen arvioidut käyttöolot, suunnittelu, rakenteelliset ominaisuudet ja huolto on otettu huomioon (kuva 3).

Kemiallista puunsuojausta tarvitaan, kun puuta käytetään kohteissa, joissa kosteusrasitus ylittää pitkäaikaisesti puun kosteuden 20 %:n raja-arvon.

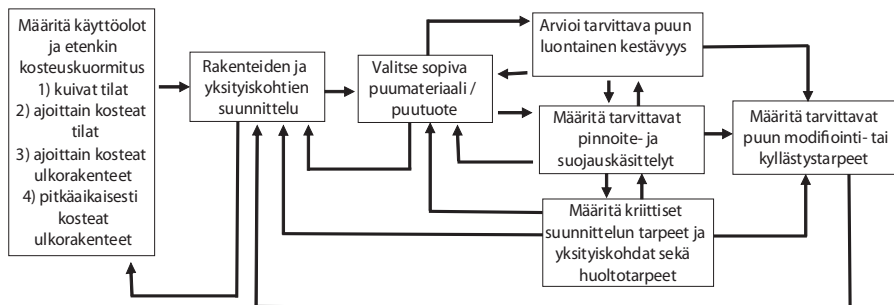
Käytännön osalta tämä tarkoittaa erilaisia kohteita, joita on kuvattu riskiluokituksessa (taulukko 1).

Pohjoismaisista puulajeista lehtipuut, kuten koi-vu ja haapa, ovat luokassa 5 (ei kestävä), kun taas kuusi on luokassa 4 (jonkin verran kestävä), mänty ja lehtikuusi luokissa 4 tai 3 (jonkin verran tai koh-talaisesti kestävä). Monet tropiikin kestäviksi luon-nehdit lehtipuulajit, kuten teak, kuuluvat luokkiin 2 ja 1 (kestävä tai hyvin kestävä). On kuitenkin syy-tä ottaa huomioon, että kestävyysluokitus tarkoi-ttaa kestävyyttä lahoa vastaan, ja siinä ei ole otettu huomioon kestävyyttä kosteutta ja veden imeyty-mistä vastaan.

Huolto on keskeinen ulkoverhousten kestoikään vaikuttava tekijä. Selvät viat (esim. veden vuotami-nen seinälle räystäiltä tai vioittuneista ränneistä) tu-lee korjata välittömästi. Pintakäsittely ja huolto pi-tää tehdä tarpeeksi ajoissa, että puualusta ei pääse vikaantumaan niin, että uusintamaalaus ei enää on-nistu (puun pinta harmaantuu) tai koko rakenne vioittuu. Vakavammat viat johtuvat pääsääntöises-ti siitä, että vettä kertyy rakenteen virheellisiin yk-sityiskohtiin. Jos puurakenne on jo päässyt vioittu-maan, huonosti tehty uusintamaalaus voi heikentää koko rakenteen toimivuutta. Yksityiskohtien suun-nittelussa voi hyödyntää rakenteiden rytmikkäa niin, että tietyt vaakalistat tai muut eniten alttii-na olevat kohdat voidaan maalata useammin kuin koko seinä tai suojatimmat seinän osat.

Kestoikätarkastelu

Rakennusten ja rakennusmateriaalien kestoikätar-kastelu on hyvin monitahoinen kokonaisuus: mate-riaaleja, rakenteita ja käyttöoloja on hyvin erilaisia, ja rakennusmateriaalien kestävyyyteen vaikuttavat hyvin monet tekijät samanaikaisesti, jolloin tarkas-telun hallinta mutkistuu. Kestoikäongelman käsit-telyyn on olemassa ISO standardin 15686 mukainen ns. kerroinmenetelmä. Käyttöluokan 3 rasitusoloja



Kuva 3. Yleispiirteinen kuvaus puutuotteiden suunnittelusta ja suojaustarpeesta käyttöolojen mukaan.

Taulukko 2 . Puun säänkestävyyteen ja käyttöikään vaikuttavat tekijät.

Kerroin	Tekijä	Suunnitteluparametrit
A 1	Puumateriaali	Puumateriaalin sään- ja lahonkestävyys, puulaji, modifointi, dimensiot
A 2	Pintakäsittely	Pintakäsittelytyyppi ja sen ominaisuudet (kalvon paksuus, peittokyky, pintalämpötila)
B	Suunnittelu, Rakenteet, Yksityiskohdat	Talon rakenne (räystäät yms.), yksityiskohdat, rakennetyyppi (pontti, lomalauta), tuulettuvuus, sahaussuunta, jatkokset, varasto, saumojen ja poikki-pintojen suojaus, kiinnitys (naulat)
C	Rakentaminen/toteutus	Yksityiskohtien ja suojauksen toteutus, kiinnityssuunta (pinta/sydän) puun kosteus/varastointi
D	Rakenteen käyttöolot	Rasitusluokat, ulkoiset rasitukset
E	Säärasitus	Ilman suunta, suojaava ympäristö, ilmasto-olot, viistosade
F	Käyttörasitus/sisäolot	Rakenteen tai tilan käyttötyyppi (kosteuslähteet, lämmitys)
G	Vikojen korjaus ja huolto	Vikojen huolto, huollettavuus, huoltomaalaus (peittomaalit /kuullotteet) ja sen viivästyminen, uusintamaalaustoimenpiteet

voidaan kuvata ns. riski-indekseillä koskien rakenteeseen ja materiaaliin kohdistuvia rasituksia. Vastaavasti materiaalin laatua, rakenteiden suunnittelua ja toteutusta, käyttöoloja sekä huollon tasoa voidaan kuvata indekseillä. Arviointi perustuu mm. käytännössä havaittuihin ongelma- ja vauriotapauxiin sekä käytettävissä oleviin kestävyystietoihin. Lisäksi ilmasto- ja käyttörasitukset on huomioitava erikseen. Kestävyystarkastelussa olennaista on useiden tekijöiden samanaikainen tarkastelu (taulukko 2). Kestoikä tarkastelu voidaan lyhyesti arvioida kaavasta

$$ESL = RSL * f(A,B,C,D,E,F,G)$$

jossa:

ESL = arvioitu kestoikä (estimated service life)

RSL = reference service life (vertailukestoikä)

- A = Komponentin laatu: puun osalta puun luontainen kestävyys ja suojauskäsittelyt (Quality of components)
- B = Suunnittelun taso: esim. räystäät, sokkelit, rakenneyksityiskohdat (Design level)
- C = Asennuksen laatu: työn toteutus ja huolellisuus, vaatimusten mukaisuus (Work execution)
- D = Sisäolosuhteet: lämpötila, ilman suhteellinen kosteuskondenssi (Indoor environment),
- E = Ulko-olosuhteet: kuten ilmasto, viistosateet, suojaavat ja altistavat tekijät (Outdoor environment)
- F = Käyttöolot: kuormat, mekaaniset vaikutukset (In use conditions)
- G = Huollon taso: korjaukset, uudelleen maalaus jne. (Maintenance level)

Puutuotteiden käyttöolosuhteista riippuen puun luontaista kestävyyttä voidaan hyödyntää. Esim. pinnoitteet riittävät usein oloissa, joissa rasitukset ovat kohtalaiset, kuten monet käyttöluokan 3.1 kohteet: ulkoverhoukset, aidat, kalusteet, parvekkeet (säältä suojatut kohteet). Sen sijaan ankarimissa oloissa on syytä huolellisesti arvioida puun luontainen kestävyys sekä sen riittävyys, etenkin terassit, laiturit ja muut lujouden kannalta kriittiset kohteet. Tällöin kestävimmän sydänpuuaineksen valikointi ja optimointi pinnoitteiden kanssa lisää kestävyyttä, mutta tarkastelu on tehtävä huolellisesti turvallisuuksitekijät huomioon ottaen.

Julkisivut altistuvat vaihteleville säärasituksille. Materiaalit (puumateriaali, pinnoitteet), rakenteet ja rasitukset vaikuttavat olennaisesti tarvittaviin huoltotoimenpiteisiin. Vikojen huolto ajoissa vaikuttaa olennaisesti koko rakenteen tai rakenneosan kestävyteen. Huoltomaalauksen ja uusintamaalauksen onnistumiseen vaikuttaa olennaisesti maalauksen viivästyminen, pinnan puhdistaminen ennen uusintamaalausta, säälle altistuneen puupinnan pohjustus, alustan kosteus sekä käsittely-yhdistelmien soveltuvuus. Kun pintakäsittely ei täytä enää sille asetettuja vaatimuksia, tulee huoltomaalaus ajan-kohtaiseksi. Koko julkisivuseinän uusiminen voi tulla kyseeseen, jos pinta on joko liian huonokuntoinen niin, että uusintamaalaus ei ole mahdollinen tai maalikalvo on liian paksu tai epätasainen niin, että uusintamaalaus ei tule onnistumaan.

Puisten julkisivujen kestoikä vaihtelee hyvin laajasti riippuen monista samanaikaisesti vaikuttavista tekijöistä. VTT:ssa Woodexter-hankkeessa tehdyn suppean kartoituksen mukaan kestoikä voi Suomen oloissa vaihdella välillä 20–200 vuotta ja ulkopinnan

Taulukko 3. Muutama esimerkki erilaisten puujulkisivujen suuntaa antavasta kestoikästä eri rasisutoloissa. Normaali ohjeiden mukainen rakenne, puumateriaali kuusi, pinnoittamaton tai ohjeiden mukainen maa-lauskokonaisuus (pohjustettu peittomaali, ns. 3 kerran käsittely), huoltomaalausväli n. 10–15 v. Tarkastelun kohteena on etelän puoleinen seinä, jossa ilmastorasitus on yleensä suurin. Arviot ovat alustavia ja suun-taa antavia.

Pinnoite	Makroilmasto	Sijainti	Ympäristö	Arvioitu kestoikä
Ei pinnoitetta	Pohjois-Eurooppa	Merenranta	Avoin	10–15
Ei pinnoitetta	Manner-Eurooppa	Merenranta	Avoin	5–10
Ei pinnoitetta	Atlantinen	Merenranta	Avoin	< 5
Ei pinnoitetta	Pohjois-Eurooppa	Sisämaa	Suojainen	40–50
Ei pinnoitetta	Manner-Eurooppa	Sisämaa	Suojainen	n. 30
Ei pinnoitetta	Atlantinen	Sisämaa	Suojainen	n. 20
Maalattu	Pohjois-Eurooppa	Merenranta	Avoin	> 50
Maalattu	Manner-Eurooppa	Merenranta	Avoin	30–40
Maalattu	Atlantinen	Merenranta	Avoin	20–25
Maalattu	Pohjois-Eurooppa	Sisämaa	Suojainen	> 50
Maalattu	Manner-Eurooppa	Sisämaa	Suojainen	> 50
Maalattu	Atlantinen	Sisämaa	Suojainen	> 50

Exposure conditions estimator for service life of claddings and deckings

Consequence class
1 ▼

Is this a decking (horizontal structure) ? Tick here if yes ☐
Otherwise this is a cladding (vertical structure)

Is the solution acceptable **Acceptable**

Service life factor [OK if ? 1]

Cons	Consequence class factor	1,0
A1	Wood material	1,00
A2	Surface coating	0,34
B	Design / structural details	0,49
C	Construction works	1,00
D	Climate conditions	2,55
F	Repair and service procedures	1,60

Service life factor = Consequence class factor x A1 x A2 x B x C x D x F

VTT

Hannu Vitanen, Lasse Makkonen, Ruut Peuhkur, Tomi Torati

date: 18.6.2010



Kuva 4. Puurakenteen kestoikää voidaan arvioida esim. kestoikälaskennan avulla, johon syötetään luokitellut arvot eri tekijöiden osalta. Menetelmää kehitetään VTT:lla.

uusintakäsittelyn väli noin 5–20 vuotta, riippuen etenkin pintakäsittelyaineesta, ympäristön rasitusoloista ja rakenteesta. Hankkeessa kehitetään myös kestoikäarviointimenetelmää, jolla voidaan arvioida puujulkisivujen kestävyysvaikutteita tekijöitä (kuva 4). Alustavien arvioiden mukaan taulukossa 3 on esitetty muutama arviointilaskelma (taulukko 3). Arviointi ei anna suoraan kestoikää vaan arvion siitä, onko tarkastelun kohteena oleva rakenne odotetun kestoikävaatimuksen mukainen. Kestoikävaatimus on vain yksi suure, jonka mukaan voidaan myös tarkasteltavien rakenteiden kestävyydelle arvioida suuntaa antava ikä vuosina.

Kirjallisuus

1. CEN 2006. EN 335. Durability of wood and wood-based products – Definition of hazard classes of biological attack – Part 1: General. European Committee for Standardisation
2. CEN 1994. EN 350-1 and 2. Durability of wood and wood based products – Natural durability of solid wood – Part 1: Guide to the principles of testing and classification of the natural durability of wood. Part 2: Guide to natural durability and treatability of selected wood species of importance in Europe. European Committee for Standardisation
3. CEN 1994. EN 460. Durability of wood and wood based products – Natural durability of solid wood – Guide to the durability requirements for wood to be used in hazard classes. European Committee for Standardisation
4. CEN 1994. EN 350-1 and 2. Durability of wood and wood based products – Natural durability of solid wood – Part 1: Guide to the principles of testing and classification of the natural durability of wood. Part 2: Guide to natural durability and treatability of selected wood species of importance in Europe. European Committee for Standardisation
5. ISO 15686, Building and construction assets – Service life planning. Parts 1–10.
6. Vesikari, Erkki; Rautiainen, Liisa; Häkkä-Rönholm, Eva; Silvennoinen, Kari; Salonvaara, Mikael; Viitanen, Hannu. Julkisivujen ja katteiden käyttöiän ennakointi. Espoo, VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, 2001, 158 s. VTT Julkaisuja – Publikationer; 850
7. Viitanen, H, Toratti, T., Makkonen, L, Peuhkuri, R, Ojanen, T, Ruokolainen, L, Räisänen, J. 2010. Towards modelling of decay risk of wooden materials. Accepted to publish in Eur. J. Wood Prod.
8. Woodexter report, WP 1, VTT (julkaisematon käsikirjoitus), 2010.