

Teräsrakenteiden uudelleenkäyttö



Teräsrakenteiden uudelleenkäyttö

Esipuhe

Tämän teknisen julkaisun laatimisen tarkoituksena on koostaa suomenkielinen katsaus ja tietopaketti teräsrakenteiden uudelleenkäytöstä. Kyseessä ei ole virallinen ohje. Julkaisun sisältö on pyritty tarkastamaan huolellisesti, mutta kuten aina inhimillisessä toiminnassa, siihen on saattanut jäädä virheitä.

Julkaisun on laatinut Teräsrakenneyhdistys ry ja pääasiallisena kirjoittajana on toiminut Suvi Papula. Julkaisun rahoittamiseen ovat osallistuneet Rakennustuotteiden laatu säätiö ja Teräsrakenneyhdistyksen jäsenyritykset. Ohjausryhmänä julkaisun laatimisessa on toiminut TRY:n Runkorakenteiden asiantuntijaryhmä. Sisällön kommentointiin on osallistunut myös Pekka Yrjölä (Kiwa Inspecta Sertifiointi).

Helsingissä 12.6.2023

Timo Koivisto
Toimitusjohtaja
Teräsrakenneyhdistys ry

Yhteyshenkilö: Teemu Tiainen
Teräsrakenneyhdistys ry
p. 0504701436
Kannet: Pekka Vuola
Kansikuvat: Purkupiha Oy
ISBN 952-9683-49-9

Sisällysluettelo:

JOHDANTO	3
TAUSTAA	3
TERÄSRAKENTEIDEN UUELLEENKÄYTETTÄVYYDEN ARVIOINTI.....	5
PURKUSUUNNITTELU JA PURKAMINEN	6
UUELLEENKÄYTTÖÖN AIOTTUJEN RAKENNEOSIEN LUOKITTELU JA TESTAUSMENETTELYT	7
SELVITETTÄVÄT MATERIAALIOMINAISUUDET	10
Dimensiot ja toleranssit.....	10
Kovuus.....	10
Lujuus	10
Iskunkestävyys ja iskusitkeys	10
Lämpökäsittelyä koskevat toimitusehdot rakenneputkille	10
Kemiallinen koostumus	11
SUORITETTAVAT MATERIAALITESTAUKSET	11
Dimensioiden ja toleranssien mittaus	11
Ainetta rikkomaton kovuustestaus.....	11
Ainetta rikkova materiaalitestaus.....	12
Kemiallisen koostumuksen analyysi	12
VALMISTUSNÄKÖKOHTIA	13
Olemassa olevat pinnoitteet	13
Ruuvireiät ja hitsit uudelleenkäytettävässä teräksessä	14
KELPOISUUDEN OSOITTAMINEN	14
Rakennuspaikkakohtainen varmentaminen.....	15
UUELLEENKÄYTÖN HUOMIOIVA SUUNNITTELU	16
Uudelleenkäytettävät teräsrakenteet suunnittelussa	16
MATERIAALIPASSI JA MATERIAALIKIERTOALUSTAT.....	17
CASE-ESIMERKKEJÄ TERÄSRAKENTEIDEN UUELLEENKÄYTÖSTÄ SUOMESSA	18
LÄHDELUETTELO	21

JOHDANTO

Rakentaminen ja rakennukset käyttävät noin puolet maapallon luonnonvarojen kulutuksesta, sekä rakennusmateriaalien valmistukseen että rakennusten tarvitseman energian tuotantoon. Vaatimukset rakennusten ympäristövaikutusten pienentämiselle ja kestäväälle rakentamiselle lisääntyvät jatkuvasti. Olennaisen tärkeää on materiaalien valmistuksen päästöjen vähentämisen ohella materiaalikierto eli rakentamisen purku- ja ylijäämämateriaalien laadukkaan hyödyntämisen edistäminen. Teräksen kierrätysaste on lähes 100%, mutta yleisesti rakennusmateriaalien kokonaiskierrätysaste on Suomessa kuitenkin eurooppalaisittain verraten alhainen.

Teräs soveltuu erinomaisesti sekä kierrätykseen että myös uudelleenkäytettäväksi, jolloin rakenteet käytetään purkamisen jälkeen uudelleen vastaavanlaiseen käyttötarkoitukseen. Rakenneteräksen uudelleenkäyttö on tehokas tapa vähentää teräsrakentamisen ilmastovaikutuksia, kun teräsmateriaalin kierrätyksessä sulatukseen käytettävä energiakulutuskin jää pois. Rakennuksen teräsrunko voidaan yleensä helposti purkaa ja siirtää asennettavaksi toiseen paikkaan. Puretun teräsrunkoisen rakennuksen osia voidaan myös käyttää uudelleen suunnitellun rakenteen osina. Tämä edellyttää kuitenkin ohjeita ja pelisääntöjä, joiden mukaan purettujen rakenneosien ominaisuudet varmennetaan, että voidaan varmistaa niiden käytettävyyden uudelleen suunniteltavissa rakenteissa.

Monissa Euroopan maissa on teräsrakenteiden uudelleenkäytölle jo julkaistu erilaisia kansallisia ohjeita ja protokollia. Tähän julkaisuun on koottu ja suomennettu tietoa mm. seuraavista julkaisuista: Återbruk av stål i bärande konstruktioner (MVR) [1], Structural Steel Reuse protocol (SCI) [2] ja PROGRESS-tutkimushankkeen lopputuloksista julkaistu eurooppalainen suunnitteluohje teräsrakenteiden uudelleenkäytölle [3]. Tämän dokumentin koostamisen tavoitteena on tuottaa tiivis suomenkielinen tietopaketti rakennesuunnittelijoille, rakenteiden valmistajille, rakennusvalvontaviranomaisille ja rakennuttajille. Dokumentti pyrkii nostamaan esiin keskeisiä asioita, joita eri toimijoiden tulee ottaa huomioon, jotta teräsrakenteiden uudelleenkäyttöä voidaan edistää.

TAUSTAA

Rakennustuotteiden uudelleenkäytöllä tarkoitetaan sitä, että purku- tai saneerauskohteista tunnistetaan ja otetaan talteen käyttökelpoiset rakennusosat ja materiaalit ja ne käytetään uudelleen samassa käyttötarkoituksessa jossain muussa rakennuskohteessa. Rakennushankkeeseen ryhtyvän on jätelain perusteella huolehdittava siitä, että otetaan talteen ja käytetään uudelleen käyttökelpoiset rakennusosat ja aineet [4]. Uudelleenkäyttö, jossa jo kertaalleen käytössä ollut rakennusosa tai -tuote käytetään sellaisenaan uudestaan, on ensisijainen vaihtoehto rakennusmateriaalien kierrättämisen sijaan. Näin vältetään uuden tuotteen valmistusprosessin aiheuttama ympäristökuorma.

Parhailtaan uudistettava EU:n rakennustuoteasetus (Construction Products Regulation, CPR) pyrkii entistä vahvemmin vaikuttamaan rakentamisen ympäristövaikutusten pienentämiseen ja kiertotalouden edistämiseen. Kiertotalouden osalta nykyinenkin rakennustuoteasetus (CPR 305/2011) sisältää jo vaatimuksen (rakennuskohteen perusvaatimukset, kohta 7: luonnonvarojen kestävä käyttö), että rakennustuotteiden tulisi olla suunniteltu ja toteutettu niin, että ne ovat uudelleenkäytettävissä tai kierrätettävissä. Tämän vaatimuksen käytäntöön siirtämiseksi ei kuitenkaan toistaiseksi ole ollut eurooppalaista lainsäädäntöä. Parhailtaan Suomessa käynnissä olevassa rakentamislain uudistuksessa pyritään myös edistämään kiertotaloutta ja painottamaan rakennusten

elinkaariominaisuuksia. Uudesta rakentamislaki, joka tulee voimaan 1.1.2025 alkaen, julkaistun esityksen mukaan rakennushankkeeseen ryhtyvän olisi huolehdittava, että rakennus suunnitellaan ja rakennetaan sen käyttötarkoituksen edellyttämällä tavalla elinkaariominaisuuksiltaan ekologiseksi sekä tavoitteelliselta tekniseltä käyttöikänsä pitkäikäiseksi. Erityistä huomiota olisi kiinnitettävä pohjarakenteiden ja kantavien rakenteiden kestävyteen sekä rakennuksen ja sen tilojen, rakennusosien sekä teknisten järjestelmien käyttöikänsä, käytettävyyteen, huollettavuuteen, muunneltavuuteen ja korjattavuuteen sekä rakennusosien purettavuuteen ja uudelleenkäytettävyyteen.

Uuteen rakentamislakiin ja sitä täydentäviin asetuksiin tulee sisällyttämään myös uusi velvoite rakennuksen ilmastaselvityksen ja materiaaliselosteen laatimisesta rakennuslupaprosessin yhteydessä sekä purkukäytöksissä purkumateriaali- ja rakennusjätteselvitys. Näillä toimilla tavoitellaan mm. purkumateriaalien hyödyntämismarkkinoiden syntymistä. Rakennuksen hiilijalanjälki on keskeinen ympäristöindikaattori, joka on mukana valmisteltavana olevassa asetuksessa ilmastaselvityksestä. Hiilijalanjälki tarkoittaa yhteenlaskettuja ilmastovaikutuksia eli energian ja materiaalien käytöstä aiheutuvia kasvihuonekaasupäästöjä, jotka syntyvät hankkeen seurauksena sen koko elinkaaren aikana. Hiilijalanjälki lasketaan summaamalla yhteen eri vaiheiden kasvihuonekaasupäästöjen vaikutus ilmastoon lämpenemiseen (Global Warming Potential, GWP). Rakennuksen hiilijalanjälkeen voidaan vaikuttaa monin keinoin: energiankäytön ja -kulutuksen minimoinnilla, rakennusmateriaalien valinnalla sekä niiden valmistuksen aikaisen energian käytön ja energiamuodon valinnoilla, materiaali-tehokkuudella sekä suunnitteleamalla ja rakentamalla pitkäikäisiä rakennuksia. On huomioitavaa, että uudessa Ilmastaselvityksasetusluonnoksessa uudelleenkäytettävien rakennusosien hiilijalanjälki on nolla. Ilmastaselvitykseen sisältyy myös nk. hiilikädenjälki, eli ilmastohyödyt, joita ei syntyisi ilman kyseistä rakennushanketta. Hiilikädenjälkeen sisältyvät rakennusmateriaalien kierrätyksellä ja uudelleenkäytöllä saavutettavat ilmastohyödyt.

”Rakennusosien uudelleenkäyttö Suomessa on toistaiseksi vähäistä, vaikka niiden käytössä nähdään potentiaalia”, todetaan uudelleenkäytön edellytyksiä käsittelevässä selvityksessä [5]. Selvitys taustoittaa, että rakennusten purkumateriaalien hyödyntäminen on Euroopan unionin ja kansallisen rakentamisen ohjauksen keskeisiä tavoitteita, joilla edistetään rakentamisen kiertotaloutta. Rakennusosien uudelleenkäytön kautta voidaan vähentää neitseellisten raaka-aineiden käyttöä. Purettujen rakennusosien soveltuvuus uudelleenkäyttöön riippuu niiden käyttöhistoriasta, saatavilla olevasta ominaisuuksien dokumentaatiosta, kunnosta ja teknisistä ominaisuuksista sekä suunnitellun käyttökohteen vaatimuksista. Rakennusosien uudelleenkäyttöön liittyy sekä lainsäädännöllisiä että kelpoisuuden osoittamiseen liittyviä reunaehtoja. Uudelleenkäytön edellytyksiä voidaan parantaa säännös-ohjauksen ohella kehittämällä materiaalien ominaisuuksien todentamiseen ja varmentamiseen sekä kelpoisuuden osoittamiseen liittyviä menetelmiä, menettelytapoja ja ohjeita [5].

Voimassa oleva EU:n rakennustuoteasetus (305/2011) [6] on säädetty uusien rakennustuotteiden valmistuksen näkökulmasta eivätkä kaikki nykyiset harmonisoidut standardit soveltu sellaisenaan uudelleenkäytettävien rakennusosien suoritusasteiden ja niiden pysyvyyden arviointiin, koska ne sisältävät valmistuksen aikaisia laadunvalvonnavaatimuksia, joita ei voida tehdä uudelleenkäytettävän rakennusosan kohdalla. Uudelleenkäytettävien rakennusosien ominaisuuksien testaamisessa on myös huomioitava aiemman käytön mahdollisesti aiheuttamat vaikutukset rakennusosien ominaisuuksiin, mitä ei ole huomioitu uudistuotteille laadituissa harmonisoiduissa standardeissa [5].

Rakennesuunnittelijat ovat merkittävässä roolissa mahdollistamassa rakennusosien- ja materiaalien uudelleenkäyttöä ja kiertotaloutta. Kantavien rakenteiden suunnittelussa tulee varmistua riittävästä rakenteellisen luotettavuuden tasosta, missä ensisijainen menettely Suomessa on hyödyntää Eurokoodi-standardeja. Teräsrakenteiden suunnitteluun uudelleenkäytettävistä rakenneosista liittyy haasteita, erityisesti käytettyjen teräsosien luotettavuuden arviointiin, jotta voidaan varmistaa, että ne täyttävät vaatimukset mekaanisten, fysikaalisten, mittojen ja muiden olennaisten ominaisuuksien osalta ja että ne soveltuvat EN 1993 -teräseurokoodien mukaiseen suunnitteluun. Uudelleenkäytettäviltä tuotteilta vaadittavat ominaisuudet on testattava tai niiden kelpoisuus on muuten osoitettava. Euroopan Standardisointijärjestön (CEN) teknisessä komiteassa TC135, joka vastaa teräs- ja alumiinirakenteiden toteutuksen standardisoinnista, on viimeistelyvaiheessa standardia SFS-EN 1090-2 [7] täydentävä esistandardi (CEN Technical Specification, TS) teräsrakenteiden uudelleenkäytöstä. Kyseisessä esistandardissa, jonka arvioitu valmistumisajankohta on loppuvuodesta 2023, tullaan määrittelemään vaatimukset ja laatimaan menettelyjä rakenteellisten teräsosien uudelleenkäytettävyyden arvioimiseen sekä vaadittujen ominaisuuksien testaamiseen ja ilmoittamiseen.

TERÄSRAKENTEIDEN UUELLEENKÄYTETTÄVYYDEN ARVIOINTI

Purkumateriaalien uudelleenkäyttö edellyttää riittävän ajoissa käynnistettyä selvitys- ja suunnittelu-työtä sekä purkukohteessa että suunnitellussa uudessa käyttökohteessa. Uudelleenkäytettäväksi aiotun teräsrakenteen arviointi alkaa jo ennen olemassa olevan rakenteen purkamista asiaankuuluvien tietojen keräämisellä ja rakenteiden silmämääräisellä arvioinnilla sekä rakenneosien merkitsemisellä. Lisäksi alustavassa uudelleenkäytettävyyden arvioinnissa tulee huomioida mahdolliset purkumenetelmät ja turvalliset työskentelytavat.

Seuraavat olennaiset tiedot tulee tallentaa olemassa olevasta rakenteesta ja teräsrakenteista [3]:

- Kuvaus teräsrakenteesta, sen käyttötarkoituksesta ja sijaintipaikasta. Tähän tulee sisältyä kuvaus siitä, kuinka rakenteet on jäykistetty
- Rakenteen ikä (rakentamisajankohta), vähintäänkin arvio
- Alustava luettelo teräsosista
- Havainnot teräsosien alustavasta silmämääräisestä tarkastuksesta vaurioiden, ilmeisten tehtyjen korjausten, korkeille lämpötiloille altistumisen (esim. tulipalo) ja merkittävän korroosion varalta;
- Kaikki havainnot mahdollisesta plastisoitumisesta
- Mikäli saatavilla, tiedot rakenteen suunnittelijasta ja toteuttajasta
- Mikäli saatavilla, rakennesuunnitelmat, dokumentit ja huolto- ja tarkastusasiakirjat

Teräsrakenteiden kunto tulee arvioida silmämääräisellä tarkastuksella. Osat, joissa havaitaan merkkejä vaurioista (plastisoituminen, altistuminen palolle, merkittävä korroosio), tulee merkitä hylätyiksi eikä niitä voida käyttää uudelleen. Ne toimitetaan kierrätykseen teräsmateriaalina. Mikäli rakenteissa on paikallisia pinnallisia vaurioita, niitä voidaan mahdollisesti korjata ennen uudelleenkäyttöä [3].

Uudelleenkäytössä suositellaan rajoituttavan teräsrakenteisiin, jotka [3]:

- ovat vanhimmillaan vuodelta 1970
- eivät sisällä merkkejä korroosioista (ei merkittävää materiaalihäviötä)
- eivät ole altistuneet tulipalolle

- eivät ole altistuneet väsyttävälle kuormitukselle (esim. sillat)
- eivät ole kokeneet plastisoitumista
- täyttävät standardin EN 1090-2:n geometriset toleranssit

Rajoittuminen vuoden 1970 jälkeen valmistettuun teräkseen liittyy nykyaikaisten suunnittelu-standardien olettamiin materiaaliominaisuuksiin (esim. EN 10025 ja EN 10219 mukaisesti). Ohjeissa on ollut lähtökohtana, että vuodesta 1970 eteenpäin terästen lujuusominaisuuksien voidaan olettaa vastaavan em. standardeissa määritellyjä materiaaliominaisuuksia ja esimerkiksi Charpy-iskutitkeyden voidaan olettaa olevan vähintään 27J lämpötilassa 20°C (laatuluokka JR standardien EN 10025 mukaisesti [8]). Lisäksi ennen 1970-lukua valmistettu teräs voi sisältää nykyisin sallittuja rajoja suurempia pitoisuuksia hitsattavuutta heikentäviä, haitallisia tai myrkyllisiä alkuaineita (esim. rikki ja fosfori). Uudelleenkäytettäväksi aiotun teräksen on täytettävä tietyt laatu- ja turvallisuusvaatimukset, jotta sen luotettavuus EN 1993 -standardien mukaisessa suunnittelussa voidaan taata.

Standardin SFS-EN 1090-2 kohdan 5.1 mukaan teräsrakenteiden valmistamisessa käytettävät tuotteet on yleensä valittava luvussa 5 esitetyistä eurooppalaisista standardeista. Standardin kohdassa 5.1 todetaan kuitenkin lisäksi, että *mikäli käytetään ei-standardimukaisia teräksiä*, seuraavat ominaisuudet on määritettävä: myötö- ja vetolujuus, venymä, tarvittaessa poikittainen murto-kuromma, mittojen ja muodon toleranssit, tarvittaessa iskunkestävyys tai iskutitkeys, lämpökäsittelyä koskeva toimitusehto, tarvittaessa paksuussuuntaiset ominaisuudet (Z-laatu) ja tarvittaessa sisäisten epäjatkuvuuksien tai säröjen raja-arvot hitsattavilla alueilla. Lisäksi, jos terästä aiotaan hitsata, tiettyjä lisävaatimuksia kuten hiilikvivalentin määrittäminen.

PROGRESS-tutkimushankkeessa tuotettujen suunnitteluohjeiden [3] mukaan uudelleenkäytettäviä teräsosia voidaan käyttää seuraamusluokkien 1-3 rakenteissa. Niitä ei tule käyttää dynaamisesti tai seismisesti kuormitetuissa rakenteissa.

Ruotsissa laadittu ohjeistus [1] rajoittaa uudelleenkäytettäviksi kuumavalssatut ja kylmämuovattut profiilit staattisesti ja kvasistaattisesti kuormitetuissa kantavissa rakenteissa toteutusluokissa EXC1 ja EXC2. Ohjeet eivät kata hitsattuja profiileja ja kylmämuovattuja levyprofiileja. Ohjeissa huomautetaan lisäksi, että kiinnittimiä (ruuveja ja muttereita) ei saa käyttää uudelleen, eikä uudelleenkäytettäviä teräsosia saa käyttää väsytkuormitetuissa rakenteissa. Mahdollisesti tulevaisuudessa ohjeistuksissa, esimerkiksi standardia SFS-EN 1090-2 täydentävissä uudelleenkäytön ohjeissa, pyritään soveltamisalaa jonkin verran laajentamaan.

PURKUSUUNNITTELU JA PURKAMINEN

Purettavista rakennuksista suositellaan laadittavan purkukartoitus, johon sisältyy purkumateriaaliselvitys sekä haitta-ainekartoitus. Purkumateriaaliselvityksen tavoitteena on tunnistaa uudelleenkäytettäväksi ja kierrätettäväksi soveltuvat materiaalit ja rakenneosat. Jos rakenneosia aiotaan käyttää uudelleen, on ne purettava rakennuksesta irti ehjänä, mikä on hitaampaa ja kalliimpaa kuin perinteinen purkutyo. Uudelleenkäytettävien rakennusosien ehjänä irrottaminen edellyttää usein toisenlaisia purkutekniikoita, erikoistyökaluja, tilapäisten tukien suunnittelua sekä asentamista ja soveltuvien nostotekniikoiden ja -välineiden kehittämistä. Lisäksi pitää varautua tilantarpeeseen

purkuosien varastoinnissa sekä siihen, että ehjänä purettavien rakennusosien käsittely edellyttää huolellisuutta ja varovaisuutta. [8]

Purettavaksi aiotusta rakenteesta ja materiaaleista kerätään ja arkistoidaan kaikki saatavilla olevat asiakirjat ja mahdollisuuksien mukaan alkuperäistä suunnittelua koskevat tiedot. Tämän jälkeen laaditaan purkusuunnitelma (ks. soveltuvat osat standardista SFS-EN 1090-2 [7]). Ennen kuin rakennetta aletaan purkaa, laaditaan merkitsemisjärjestelmä, jonka avulla puretut osat ovat tunnistettavissa ja niiden sijainti rakenteessa jäljitettävissä. Esimerkiksi voidaan käyttää RFID-tageja, joiden tunnistetiedot talletetaan digitaaliseen materiaalitietokantaan. Kaikkien rakennosien on oltava jäljitettävissä kaikissa purkamisen vaiheissa ja laadunvalvonnan loppuun saakka.

Teräsrakenteen purkamisen jälkeen jokainen osa tarkastetaan ja niistä talletetaan ainakin seuraavat tiedot:

- Mitat (poikkileikkaus ja pituus);
- Suoruus (arvioituna toleranssien suhteen);
- Havaitut merkittävät materiaalipaksuuden häviöt;
- Jäljet vaurioista tai plastisoitumisesta.

Purettujen rakennosien käsittelyssä ja varastoinnissa on kiinnitettävä huomiota siihen, että rakenteet säilyvät vahingoittumattomina.

UUDELLEENKÄYTTÖÖN AIOTTUJEN RAKENNEOSIEN LUOKITTELU JA TESTAUSMENETTELYT

Käytettävien testausmenettelyjen tulee tuottaa olennaiset tiedot rakennosien ominaisuuksista riittävällä luotettavuudella ja kohtuullisin kustannuksin. Testauksen laajuuden ja tulosten tulkinnan tulee perustua rakenteista saatavilla oleviin lähtötietoihin ja niiden oletettuun laatuun. Rakennosat, joiden voidaan olettaa olevan olennaisilta ominaisuuksiltaan samanlaisia, ryhmitellään erillisiksi testauseriiksi. Olennaiset ominaisuudet voidaan olettaa samoiksi, kun kaikki seuraavat täyttyvät [3]:

- Rakennosat ovat peräisin samasta rakenteesta
- Rakennosilla oli sama käyttötarkoitus (esim. pilari, palkki)
- Niillä on samat poikkileikkauksen dimensiot, olennaiset toleranssit mukaan lukien

Jos teräsrakenne on alun perin valmistettu jonkin vaihtoehdoisen spesifikaation eikä EN-standardien mukaan, eri tuotestandardien mukaan valmistettuja materiaaleja ei saa sekoittaa testauseriän sisällä – kaikkien erän materiaalien materiaali- ja valmistusstandardien tulee olla yhteneviä. Yhden testauseriän kokonaispaino tulisi olla enintään 20 tonnia. Ryhmittely tällä tavalla mahdollistaa tiettyjen materiaali-ominaisuuksien määrittämisen koko erälle testaamalla yhtä tai useampaa edustavaa jäsentä.

Kaikkien uudelleenkäytettäväksi aiottujen teräsrakenteiden soveltuvuus ja luotettavuus tulee arvioida materiaalin vaatimuksien suhteen. Jos alkuperäisiä materiaalitodistuksia ei ole puretuista rakenteista saatavilla, materiaalin asianmukaisuuden osoittamiseksi on suoritettava testejä soveltuvien näytteenotto- ja testausmenetelmien avulla.

Rakenneosille tehdään luokittelu sen määrittämiseksi, voidaanko niitä hyödyntää rakenteelliseen uudelleenkäyttöön ja millaisia testaustoimenpiteitä se edellyttää. PROGRESS-tutkimushankkeessa julkaistussa suunnitteluohjeessa teräsmateriaalit voidaan luokitella kolmeen luokkaan seuraavasti [3]:

Luokka A: Uudelleenkäytettäväksi aiottua teräsmateriaalia voidaan käyttää rakennesuunnittelussa EN 1993 -standardien mukaisesti, koska asianmukainen soveltuvuuden ja luotettavuuden arviointi voidaan tehdä olemassa olevien alkuperäisten asiakirjojen perusteella. Esimerkkejä luokkaan A luokiteltavista teräsrakenteista ovat sellaiset, jotka ovat peräisin peruuntuneesta rakennusprojektista (rakenteita ei koskaan ole asennettu) tai käytössä olleet teräsrakenteet, joista on saatavilla alkuperäinen dokumentaatio (mm. rakennesuunnitelmat, rakentamisajankohta, aineodistukset tai muut laadunvarmistuksen/ testauksen dokumentit, tiedot tehdyistä tarkastuksista ja mahdollisista muutostöistä, rakennuksen käyttö-/huoltokirja, raportit mahdollisista altistumisista tulipalolle tms.).

Luokka B: Materiaali täyttää suorituskykyvaatimukset kattavaan materiaalitestaukseen perustuen, ja sille on tehty hyväksytyt, sertifioitu laadunvarmistus. Testausmenettely käsittää sekä ainetta rikkomattomia että rikkovia testejä, esim. standardin SFS-EN ISO 6892-1 [9] mukaisesti sekä geometrinen toleranssien tarkastamisen. Konservatiivisempia arvoja osavarmuusluvulle γ_{M1} suositellaan standardisarjan EN 1993 mukaisessa suunnittelussa, koska joitain palkin ja poikkileikkauksen epätäydellisyyksiä voidaan havaita. Suositus on käyttää arvoa $\gamma_{M1, mod} = K_{\gamma M1} \gamma_{M1}$, missä $K_{\gamma M1} = 1.15$ [3]. Tarkemmin osavarmuuslukujen määrittely kuvataan lähteen [3] liitteessä B.

Luokka C: Materiaali on tunnistamaton, mutta teräsosissa ei ole havaittavia vikoja tai vaurioita. Niiden uudelleenkäyttö voi olla sallittua ei-turvallisuuskriittisissä rakenteissa.

Ruotsissa julkaistussa *Återbruk av stål i bärande konstruktioner* [1] ohjedokumentissa uudelleenkäytettäviksi aiotut teräsrakenteet jaotellaan neljään eri ryhmään (A-D), joille on määritelty erilaiset menettelytavat vaadittavien materiaalitestausten suhteen:

Menettely A: Nykyaikaista vastaava teräs alkuperäisillä asiakirjoilla

Rakenneosien alkuperä tunnetaan ja teräsmateriaalin voidaan olettaa täyttävän samat vaatimukset kuin uuden teräksen, edellyttäen että alkuperäiset tarkastusasiakirjat ovat saatavilla ja rakenneosat ovat jäljitettävissä vähintään SFS-EN 1090-2 toteutusluokan EXC2 mukaisesti [7]. On suoritettava ainetta rikkomaton kovuustestaus, jolla varmistetaan materiaalin vastaavuus alkuperäisiin tarkastusasiakirjoihin. Kovuustestaus suositellaan suoritettavaksi vähintään 10%:lle tai kolmelle rakenneosalle testauserästä. Kemiallisen koostumuksen analyysiä tai rikkovia materiaalitestauksia ei tarvitse tehdä. Testauserän osien teräslaji ja laatuluokka (subgrade, iskutkeyteen perustuva) määritetään alkuperäisen tarkastustodistuksen mukaisesti. Tarkastusasiakirjojen tiivistelmän on sisällettävä alkuperäisten tarkastustodistusten kopioiden lisäksi kaikki osien jäljitettävyyden kannalta tarpeelliset asiakirjat.

Menettely B: Nykyaikaista vastaava teräs tunnetulla alkuperällä

Muuten samat ominaisuudet kuin A:ssa, mutta alkuperäiset tarkastusasiakirjat eivät ole saatavilla. On suoritettava ainetta rikkomaton kovuustestaus samoin kuin menettelyssä A. Kemiallisen koostumuksen rikkomaton analyysi voidaan suorittaa ja tulokset arvioida hiiliekvivalentin arvioimiseksi, korkeampien sitkeysluokkien todennäköisyyden arvioimiseksi ja rakenneosien samanlaisuuden

varmistamiseksi testauserässä. Ainetta rikkova testaus suoritetaan materiaalille, joka on otettu satunnaisesti valitusta tai mieluiten alhaisimman tuloksen kovuustesteissä saaneesta testauserään kuuluvasta rakenneosasta. Ruotsissa laaditun ohjeistuksen mukaan testauserän teräslaji, myötö- ja murtolujuus sekä laatuluokka voidaan määrittää vertaamalla ainetta rikkovan testauksen tuloksia taulukossa 1 esitettyihin hyväksymiskriteereihin [1].

Taulukko 1. Lujuuden hyväksymiskriteerit [1].

Teräslaji	$R_{eH} > \text{(MPa)}$	$R_m > \text{(MPa)}$	Murtovenymä ($L_0 = 5,65VA_0$)	R_m/R_{eH}
S235	267	396	> 14 %	> 1,10
S275	313	452		
S355	391	505		
S420	463	559		
S460	490	560		

Laatuluokan ja kemiallisen koostumuksen osalta sovelletaan samoja hyväksymiskriteerejä kuin uudelle teräkselle (ks. asiaankuuluva tuotestandardi). Tarkastusraporttien tulee sisältää ainetta rikkovan testauksen testitodistusten lisäksi kaikki osien jäljitettävyyden kannalta tarpeelliset asiakirjat.

Menettely C: Vanhempi teräs tunnetulla alkuperällä

Jos teräsrakenteet ovat vanhempia kuin 1970-luvulta, eli niiden ei voida katsoa vastaavan nykystandardien mukaisia teräksiä, mutta jos niiden alkuperä on kuitenkin tunnettu, sovelletaan tätä menettelyä. On suoritettava ainetta rikkomaton kovuustestaus. Kemiallisen koostumuksen rikkomaton analyysi voidaan suorittaa ja tuloksia hyödyntää testauserän rakenneosien samanlaisuuden vahvistamiseksi ja/tai hiiliäkvivalentin määrittämiseksi. Ainetta rikkova testaus suoritetaan materiaaleille, jotka on otettu vähintään kolmesta satunnaisesti valitusta testauserään kuuluvasta rakenneosasta. Testausmenetelmien ja laajuuden on täytettävä asiaankuuluvan tuote-standardin vaatimukset. Testauserän rakenneosien myötö- ja murtolujuuksien arvot määritetään tilastollisella arvioinnilla ainetta rikkovan testauksen tuloksista. Iskunkestävyyden ja kemiallisen koostumuksen osalta sovelletaan samoja hyväksymiskriteerejä kuin uudelle teräkselle (ks. asiaankuuluva tuotestandardi). Valvontadokumentaation tulee sisältää rikkovasta kokeesta saatujen testitodistusten lisäksi kaikki osien jäljitettävyyden sekä myötö- ja murtolujuuden ominaisarvojen tilastollisen arvioinnin kannalta tarpeelliset asiakirjat.

Menettely D: Tuntematon teräsmateriaali

Rikkomatonta kovuustestausta voidaan käyttää kunkin rakenneosan teräslajin alustavaan arvioimiseen. Ainetta rikkova testaus suoritetaan kaikista yksittäisistä rakenneosista otetuille näytteille. Testausmenetelmien ja laajuuden on täytettävä asiaankuuluvan tuotestandardin vaatimukset. Kunkin rakenneosan ominaisarvot myötö- ja murtolujuudelle, sitkeysluokalle ja hiiliäkvivalenttiarvolle voidaan asettaa rakenneosan testaustodistuksessa ilmoitettuihin arvoihin. Kemiallisen koostumuksen rikkomaton analyysi voidaan suorittaa hiiliäkvivalentin arvioimiseksi. Testausdokumentaatio koostuu kunkin yksittäisen rakenneosan rikkomattoman testin testi-todistuksista.

SELVITETTÄVÄT MATERIAALIOMINAISUUDET

Seuraavat materiaaliominaisuudet tulee selvittää sen varmistamiseksi, että uudelleenkäytettäväksi aiottu materiaali täyttää asianmukaiset suunnittelun edellyttämät vaatimukset [2]:

Dimensiot ja toleranssit

Kaikkien rakenneosien mitat ja toleranssit tulee määrittää ja dokumentoida. Geometriset ominaisuudet voidaan ilmoittaa joko suoraan tai viittauksena standardiprofiileihin. Jos mitat ilmoitetaan suoraan kaikille testauserän jäsenille, keskiarvo ja vaihteluväli on ilmoitettava. Jos mitat on ilmoitettu viitteenä vastaaviin standardiprofiileihin, mitattujen arvojen on täytettävä kaikki asiaankuuluvan tuotestandardin mittoja ja toleransseja koskevat vaatimukset. Rakenneosien tulee täyttää olennaiset toleranssit SFS-EN 1090-2 [7] mukaisesti ja mahdolliset projektikohtaisesti määritellyt toiminnalliset toleranssit. Mikäli standardin SFS-EN 1090-2 mukaiset toleranssirajat ylittyvät, rakenneosia voidaan silti käyttää, jos niiden todelliset mittojen vaihteluvälit dokumentoidaan ja huomioidaan rakenne-suunnittelussa.

Kovuus

Materiaalin kovuus voidaan mitata kannettavilla mittalaitteilla. Täytyy muistaa, että kovuusmittaukset ovat pinta-analyysimenetelmiä ja antavat tietoa vain materiaalin pinnan ominaisuuksista. Ainetta rikkomattomien kovuustestien käyttö rajoittuu siksi pääasiassa teräksen alustavaan arvioimiseen, purettujen osien ryhmittelyyn (testauserän osien välisten epäjohdonmukaisuuksien havaitsemiseen) ja heikoimman, jatkotestaukseen menevän osan valitsemiseen. Standardin EN ISO 18265 liitteessä A esitetään tapa materiaalin murtolujuuden arvioimiseksi Vickersin kovuusarvojen perusteella, mutta tämä menettely sisältää laajan hajonnan ja on siksi ainoastaan karkea arvio [10]. Uudelleenkäytettävien materiaalin mekaaniset lujuusominaisuudet tulee aina määrittää rikkovilla testausmenetelmillä kuten vetokokeilla, mikäli alkuperäisiä dokumentteja ei ole saatavilla.

Lujuus

Uudelleenkäytettävän materiaalin myötö- ja murtolujuus sekä venymäarvot tulee määrittää ainetta rikkovilla testeillä. Ainetta rikkovia testejä käytetään testauserän yhden tai useamman edustavan näytteen myötörajan ja murtolujuuden määrittämiseen, jotta varmistetaan teräslajin oikea tunnistus.

Iskunkestävyys ja iskusitkeys

Jos materiaalin iskusitkeys on esitetty määritettäväksi, suoritetaan ainetta rikkovat testit asiaankuuluvan standardin vaatimusten mukaisesti.

Lämpökäsittelyä koskevat toimitusehdot rakenneputkille

Rakenneputkia valmistetaan kylmämuovaamalla standardin SFS-EN 10219 mukaisesti tai kuuma-muovaamalla standardin SFS-EN 10210:n mukaisesti [12, 13]. Konservatiivisesti suositellaan, että kaikkien uudelleenkäytettävien rakenneputkien oletetaan olevan kylmämuovattuja standardin SFS-EN 10219:n mukaisesti.

Kemiallinen koostumus

Kemiallinen koostumus on tärkeä selvittää kierrätetyn rakenneteräksen ominaisuuksien säilyvyyden (durability) ja erityisesti hitsattavuuden kannalta. Kemiallisen koostumuksen ilmoittamisessa on esitettävä tiettyjen kemiallisten alkuaineiden pitoisuudet asiaankuuluvan standardin mukaisesti. Tämän selvityksen tarkoituksena on mahdollistaa hiiliekvivalenttiarvon (CEV) laskeminen, joka on keskeinen parametri hitsattavuuden arvioinnissa.

SUORITETTAVAT MATERIAALITESTAUKSET

Dimensioiden ja toleranssien mittaus

Kaikki rakenneosat mitataan ja tarkastetaan toleranssien suhteen mittausten menetelmillä ja mittauslaitteilla standardin SFS-EN 1090-2 kohdan 12.3 mukaisesti [7]. Mitatut mitat ja toleranssit tarkastetaan asiaankuuluvan tuotestandardin ja SFS-EN 1090-2 liitteen B soveltuvien osien perusteella. Mittojen ja toleranssien valvonnan tulos dokumentoidaan.

Ainetta rikkoman kovuustestaus

Vickersin mukainen ainetta rikkoman kovuustestaus suoritetaan kaikille testauseriin kuuluville rakenneosille standardin esimerkiksi DIN 50159:n [14] mukaisella UCI-kovuusmittausanturilla (Ultrasonic Contact Impedance) tai vaihtoehtoisesti standardien DIN 50157 [15] tai ASTM A1038-17 [16] mukaisesti. Puristusvoimana ainetta rikkomattomassa kovuuskokeessa käytetään arvoa HV10 eli 98 N, ja kunkin rakenneosan kovuus määritetään vähintään kolmen yksittäisen mittauksen keskiarvona. Mittalaitteen kalibrointi on tarkistettava säännöllisesti, mieluiten päivittäin. [1]

Ennen kovuustestin aloittamista testausmenetelmän luotettavuus on tarkastettava hajonnan suhteen menetelmäkokeilla vähintään kolmella saman testauseriin tunnetuista teräskappaleista. Menetelmäkokeen toteutus ja tulos on dokumentoitava.

Mittaukset tehdään mahdollisuuksien mukaan samasta kohdasta vastaavanlaisille rakenneosille, vastaten tuotestandardin mukaisia suosituksia mekaanista testausta varten. Esimerkiksi kuuma-vaalssatun I-profiilin laipoissa kovuusmittaukset tehdään etäisyydellä laipan leveys/6 laipan ulkoreunasta. Testipinnan tulee olla sileä (hiottu), pinnoitteeton ja voiteluaineeton. Karheus ei saa ylittää $R_a = 0,001$ mm, mikä voidaan saavuttaa hiomalla grit 180 tai hienommin.

Hyväksymiskriteerit kovuuden suurimmalle sallitulle vaihtelulle testauseriin sisältyvien yksittäisten rakenneosien välillä on määritettävä ennen testien aloittamista. Käytetyt hyväksymiskriteerit riippuvat menetelmästä, jota käytetään kovuustestien tulosten analysoinnissa.

Kovuustestien tulokset suhteessa hyväksymiskriteereihin on analysoitava dokumentoidulla menetelmällä. Jos testauseriin sisältyvät rakenneosat, joilla on täydellinen jäljitettävyys standardin SFS-EN 1090-2 mukaisesti, eivät täytä hyväksymiskriteerejä tai jos murtolujuus, joka on arvioitu kovuusmittauksen tuloksesta standardin EN ISO 18265 [11] liitteen A mukaan ei vastaa alkuperäisen tarkastustodistuksen murtolujuutta, sovelletaan seuraavaa menetelmää:

- Testauseriä jaetaan vähintään kahdeksi uudeksi eräksi, jotka tarkistetaan erikseen, tai

- rakenneosat, joilla on äärimmäiset arvot, hylätään, kunnes loput rakenneosat muodostavat hyväksymiskriteerit täyttävän testausserän.

Huom. Kovuusmittauksen perusteella voidaan arvioida teräksen murtolujuutta (ISO 18265 liite A [11]), mutta kovuusmittauksella ei voi korvata vetokokeita materiaalin mekaanisten ominaisuuksien määrittämiseksi.

Ainetta rikkova materiaalitestaus

Riippumattoman ja akkreditoitun tahon on suoritettava ainetta rikkova testaus, joka sisältää vetokokeen, iskukokeen ja kemiallisen koostumuksen analyysin. Testien tulokset dokumentoidaan standardissa SFS-EN 10204 esitetyn tyyppin 3.1 aineodistuksen mukaisesti. [1]

Vetokoe suoritetaan standardin EN ISO 6892-1 mukaisesti. Näytteet otetaan asiaankuuluvan tuotestandardin suositusten mukaisesti. Myötö- ja murtolujuuksien ominaisarvot määritellään standardin SFS-EN 1990 liitteessä D esitetyllä menetelmällä. Sitkeyden (venymä ja suhde R_m/R_{eH}) tulee täyttää standardin SFS-EN 1993-1-1:2020 vaatimukset. [1]

Iskukokeet suoritetaan ja näytteet valmistetaan asiaankuuluvan tuotestandardin suositusten mukaisesti. Testauslämpötilan määrittää tilaaja. Ellei muuta ole määritelty tai jos tulokset ovat epäselviä on turvallista käyttää laatuluokkaa JR ja tehdä iskutestaus huoneenlämmössä. Laatuluokka J2 (-20°C) on kuitenkin nykyään yleisempi. [1]

Uudelleenkäytettävien teräsrakenteiden käyttö seuraamusluokan 3 rakenteissa asettaa lisävaatimuksia materiaaliominaisuuksien määrittämiseksi rikkovalla aineenkoetuksella (taulukko 2).

Taulukko 2. Rikkovan aineenkoetuksen vaatimukset riippuen seuraamusluokasta [2].

Seuraamusluokka	Rikkovan aineenkoetuksen testien minimimäärä	Tulosten tarkastelutapa
CC1	1	Ei-tilastollinen, CEV maksimi-arvo
CC2	1	Ei-tilastollinen, CEV maksimi-arvo
CC3	3	Tilastollinen myötö- ja murtolujuudelle sekä venymälle, CEV maksimi-arvo

Kemiallisen koostumuksen analyysi

Kemiallisen koostumuksen testaus suoritetaan käyttämällä sopivaa menetelmää dokumentissa CEN/TR 10261 määritellyistä menetelmistä [17]. Esimerkiksi voidaan käyttää optista emissiospektroskopiaa (OES) standardin CEN / CR 10320 mukaisesti [18]. Testitulokset dokumentoidaan testitodistuksessa. [1]

Vähintään 20% tai vähintään kolme kappaletta testausserän rakenneosista on analysoitava. Näytteet tulee ottaa rakenneosista, joiden kovuus on korkein, pienin ja keskimääräinen testausserässä. Seuraavien seosaineiden pitoisuudet dokumentoidaan [1]:

- Hiili (C), kromi (Cr), kupari (Cu), mangaani (Mn), nikkeli (Ni), fosfori (P), pii (Si) ja rikki (S).

Testauserää voidaan pitää homogeenisena, jos minkään edellä lueteltujen seosaineiden osalta vaihtelu ei ylitä 10%:a. Muussa tapauksessa kaikki rakenneosat tarkistetaan ja tulokset analysoidaan, minkä jälkeen:

- erä jaetaan vähintään kahdeksi uudeksi homogeeniseksi eräksi TAI
- rakenneosat, joilla on äärimmäiset arvot, hylätään, kunnes erää voidaan pitää homogeenisena.

Keskimääräinen hiiliäkvivalentti testauserälle voidaan laskea seuraavalla yhtälöllä ja ainesosien seosaineiden keskiarvoilla:

$$CEV = C + (Mn / 6) + ((Cr + Mo + V) / 5) + ((Ni + Cu) / 15)$$

Huom1. CEN/ CR 10320:ssa ei ole suosituksia molybdeenin (Mo) ja vanadiinin (V) määrittämiseksi. OES:llä määritettyjä Mo- ja V-tasoja voidaan siksi pitää jonkin verran epävarmempana kuin muiden aineiden tasoja.

Huom2. Varmuuden vuoksi hiiliäkvivalentin voidaan olettaa olevan yhtä suuri kuin tuotestandardin mukaan sallittu enimmäisarvo, katso taulukko 3.

Taulukko 3. Hiiliäkvivalentin maksimiarvo mainittujen EN-standardien mukaisesti [1].

Teräslaji	S235	S275	S355	S420	S460
EN 10025 EN 10219	0,35	0,40	0,45	0,43	0,53
EN 10210	0,39	0,43	0,47	0,52	0,55

VALMISTUSNÄKÖKOHTIA

Kaikkien teräsrakenteiden toteutuksen tulee noudattaa standardin SFS-EN 1090-2 vaatimuksia. Esivalmistus ja kokoaminen, hitsaus, mekaaninen kiinnittäminen, asentaminen ja pintakäsittely tulee toteuttaa em. standardin lukujen 6, 7, 8, 9 ja 10 mukaisesti. Geometristen toleranssien tulee täyttää luvussa 11 esitetyt vaatimukset ja tarkastukset tulee suorittaa luvun 12 mukaisesti. [2]

Olemassa olevat pinnoitteet

Useimmissa tilanteissa olemassa oleva pinnoite suunnitellaan poistettavaksi kokonaan. Teräsrakenteiden uudelleenkäytön niiden alkuperäisellä korroosiosuojauksella suositellaan rajoitettavan tilanteisiin, joissa koko teräsrakenne puretaan, siirretään ja rakennetaan uudelleen pääosin alkuperäisessä muodossaan. Harkittaessa korroosiosuojattujen teräsrakenteiden uudelleenkäyttöä sellaisenaan, on otettava huomioon seuraavat seikat [2]:

- Olemassa olevat korroosiosuojajärjestelmät tarvitsevat todennäköisesti korjaustöitä rakenteen purkamisen ja muiden valmistustoimenpiteiden jälkeen;
- Olemassa olevat, vanhat korroosiosuojajärjestelmät voivat sisältää vaarallisia aineita, jotka on kielletty nykyisessä lainsäädännössä;

- Vaikka purettujen teräsrakenteiden korroosiosuojajärjestelmät saattavat olla alun perin odotettua kestävämpiä, alkuperäinen suojaustaso on saattanut heikentyä ja nykyisten ohjeiden mukaan suositeltua alhaisempi.

Maalipinnoitteen kemiallinen koostumus tulee analysoida. Tämä voidaan tehdä käyttäen esimerkiksi kannettavaa röntgenfluoresenssiin perustuvaa testauslaitetta. Jos pinnoite sisältää myrkyllisiä aineita kuten lyijyä, kadmiumia tai asbestia, pinnoite tulee poistaa asianmukaisella menettelyllä. Jos pinnoite ei sisällä vaarallisia aineita, voidaan paikallisesti vaurioituneita kohtia pinnoitteessa korjata paikka-maalauksella. Aiempi pinnoitetyyppi tulee tunnistaa, jotta voidaan varmistaa oikeanlaisen ja yhteen-sopivan paikkamaalin valinta. Ennen paikkamaalausta tulee pinta puhdistaa huolellisesti.

Palosuojapinnoitteet ovat erittäin herkkiä kosteudelle, eikä niiden toimivuuteen voi osia uudelleen käytettäessä luottaa. Tarvittava palosuojaus on siis hoidettava erikseen.

Kuumasinkityt teräsrakenteet säilyttävät korroosiosuojan tyypillisesti useita vuosikymmeniä, tietenkin riippuen käyttöolosuhteista, ja niitä voidaan käyttää uudelleen. Kuumasinkittyjen teräsrakenteiden sinkityksen kunto voidaan arvioida visuaalisella tarkastelulla sekä pinnoitepaksuuden mittauksella standardin SFS-EN ISO 1461 mukaisesti [19]. Sinkkipinnoitteen arvioitu jäljellä oleva kestoikä tietyssä käyttöympäristössä on suoraan verrannollinen pinnoitepaksuuteen. Sinkkipinnoitetta voidaan myös korjata paikallisesti tai rakenteet voidaan sinkitä kokonaan uudelleen.

Ruuvireiät ja hitsit uudelleenkäytettävässä teräksessä

UK:ssa SCI:n julkaiseman ohjeistuksen mukaan ruuvireikiä sisältävien osien uudelleenkäyttö on sallittua, jos kaikki standardien SFS-EN 1993-1-1 ja SFS-EN 1993-1-8 geometriset ja suunnittelu-vaatimukset täyttyvät [20, 21]. Jos ruuvireiät sijaitsevat kriittisen poikkileikkauksen sisällä ja pienentävät poikkileikkausta yli 15 %, tulee poikkileikkauksen netto-ominaisuudet dokumentoida ja niitä tulee käyttää mitoituksessa. Uudelleenkäytettäville teräsosille, joissa on olemassa olevia reikiä, tulee välttää uusia liitoksia 100 mm:n sisällä olemassa olevista rei'istä. [2]

SCI:n ohjeessa suositellaan, että ylimääräisiä hitsattuja liitoskappaleita, esim. jäykisteitä, ei tarvitse poistaa. Erityistä varovaisuutta kuitenkin tarvitaan, jos olemassa olevia liitoksia sisältäviä rakenneosia käytetään uudelleen. Erityisesti kaikki hitsit on tarkastettava ja testattava huolellisesti. Liitoslevyjen ja -kappaleiden teräslaatu tulee arvioida ainetta rikkomattomilla testeillä. Yleisenä suosituksena vaaditaan, että vähintään sama määrä hitsaustestejä EN 1090-2:n mukaan (taulukko 24) tulee soveltaa uudelleenkäytettäviin teräsrakenteisiin. 100 % hitsien silmämääräinen tarkastus on suositeltavaa. [2]

KELPOISUUDEN OSOITTAMINEN

Suomen Ympäristöministeriö linjasi tiedotteessaan kesäkuussa 2022, että rakennustuotteiden uudelleenkäyttö on mahdollista kelpoisuuden **rakennuspaikkakohtaista varmentamista** käyttäen [22]. Rakennusosaa saa käyttää uudelleen, jos sen ominaisuuksia ei olennaisesti muuteta ja sitä käytetään samaan käyttötarkoitukseen, mihin se on alun perin suunniteltu ja tuotettu.

Voimassa oleva EU:n rakennustuoteasetus (Construction Products Regulation, CPR 305/2011) [6] koskee lähtökohtaisesti uusia tuotteita eikä sisällä säännöksiä uudelleenkäytettävistä rakennus-tuotteista. EU:n sisämarkkinoille rakennustuoteasetuksen perusteella kertaalleen saatetut rakennus-

tuotteet, joita uudelleenkäytetään, kuuluvat pääosin kansallisen sääntelyn piiriin eli niiden kelpoisuuden osoittamisessa tukeudutaan CE-merkinnän ja suoritustasoilmoituksen sijaan kansalliseen tuotehyväksyntämenettelyyn [4]. Käytettyjä rakennustuotteita ei voi CE-merkitä uudelleen, ellei voida jollakin tavalla osoittaa, että tuote valmistetaan uudelleen. CE-merkintään liittyy olennaisena osana koko tuotannon laadunvarmistuksen toimenpiteet, joiden tulee kattaa valmiin tuotteen ominaisuuksien tutkimisen lisäksi myös tuotantoprosessin (mm. raaka-aineet, koneet, laitteet, henkilöstö, aliurakoitsijat) laadunhallinta, arviointi ja jatkuva parantaminen. Koska tätä menettelyä ei siis voida käyttää käytettyjen rakennusosien kelpoisuuden osoittamisessa, vaihtoehdoksi jää rakennuspaikkakohtainen kelpoisuuden osoittamisen menettely. [23]

Uudelleenkäytettävää rakennustuotetta ei Ympäristöministeriön linjauksen mukaan tarvitse CE-merkitä, jos tuotetta ei olennaisesti muuteta. Olennainen muuttaminen tarkoittaa, että vähintään yhtä tuotteen teknistä perusominaisuutta muutetaan. Viime kädessä uudelleenkäytettävien tuotteiden kelpoisuus osoitetaan rakennuspaikkakohtaisessa varmentamisessa. Tuotteen kelpoisuus käyttökohteeseen tuleekin aina varmistaa ja osoittaa, oli kyseessä sitten uusi CE-merkitty tai uudelleenkäytettävä tuote. Tämä tarkoittaa muun muassa sitä, että uudelleenkäytettävän tuotteen ominaisuuksia on testattava tai tuote on muuten osoitettava soveltuvaksi aiottuun käyttöön. Tämä edellyttää, että tuotteen soveltuvuuden osoittamiselle määritellään käytännöt. [22]

Rakennuspaikkakohtainen varmentaminen

Kansallisia hyväksyntämenettelyjä voidaan Suomessa soveltaa sellaisille rakennustuotteille, joissa ei voida käyttää CE-merkintää, eli ne eivät kuulu harmonisoidun tuotestandardin soveltamisalaan tai joille ei ole eurooppalaista teknistä arviointia (ETA) [24]. Kansalliset hyväksyntämenettelyt perustuvat lakiin eräiden rakennustuotteiden tuotehyväksynnästä (954/2012), joka tuli voimaan 1.7.2013 [25]. Rakennustuotteiden kansalliselle hyväksymiselle on kolme vapaaehtoista vaihtoehtoa: tyyppihyväksyntä, varmennustodistus ja valmistuksen laadunvalvonnan varmentaminen [24]. Näiden vapaaehtoisten menettelyjen lisäksi rakennusvalvontaviranomaisella on mahdollisuus edellyttää rakennustuotteen rakennuspaikkakohtaista varmentamista silloin, kun rakennustuotteen kelpoisuutta ei ole muulla tavalla osoitettu ja on syytä epäillä, että rakennustuote ei täytä sille säädettyjä olennaisia teknisiä vaatimuksia. Kuten kaikessa rakentamisessa, vastuu rakennustuotteen kelpoisuudesta on viime kädessä hankkeeseen ryhtyvällä, joka myös vastaa varmentamisesta koituvista kustannuksista (esim. testaukset ja tarkastukset).

Kunnan rakennusvalvontaviranomainen voi aina edellyttää testaukseen tai asiakirjoihin perustuvaa kelpoisuuden osoittamista rakennuspaikkakohtaisesti, mikäli rakennustuotteen kelpoisuutta rakentamisessa käytettäväksi ei ole muulla tavoin osoitettu. Rakennuspaikkakohtainen kelpoisuuden osoittamisen menettely on aina kohdekohtaista ja sen sisältö riippuu aina materiaalista ja käyttötarkoituksesta. Käytännössä usein edellytetään ulkopuolisen asiantuntijatahon lausuntoa materiaalin laadusta ja kelpoisuudesta. Asiantuntijatahon tulee olla rakennusvalvontaviranomaisen päteväksi katsoma, ei välttämättä ilmoitettu laitos tai hyväksytty toimielin. Tuotteen ominaisuuksien suoritustasot voidaan määrittää testaamalla, laskemalla tai arvioimalla olemassa olevien tuotetietojen perusteella. Ominaisuuksien suoritustasojen tulee täyttää käyttökohteessa niille asetetut vaatimustasot. [22]

Ympäristöministeriön julkaisema linjaus rakennustuotteiden uudelleenkäytöstä niiden kelpoisuuden rakennuspaikkakohtaista varmentamista käyttäen tekee Rakennustarkastusyhdistyksen mukaan

käytännössä rakennusvalvonnoista tuotehyväksyntälaitoksia purkutuotteiden osalta [26] ja suuri huolenaihe on, miten osaaminen ja resurssit tulevat riittämään. Tätä dokumenttia varten haastatellut rakennusvalvonnan edustajat pitivät terästä hyvin soveltuvana uudelleenkäytettäväksi, koska sen ominaisuudet ovat selvitetävissä testaamalla, mutta uudelleenkäyttöön tarvitaan selkeitä yhteisiä pelisääntöjä.

Rakennuspaikkakohtaisen varmentamisen kustannuksista vastaa rakennushankkeeseen ryhtyvä, jolla on viime kädessä vastuu rakennushankkeessa käytettävien rakennustuotteiden ja tarvikkeiden kelpoisuudesta. Hankkeessa on suositeltavaa olla mukana tuotekelpoisuuskoordinaattori.

UUDELLEENKÄYTÖN HUOMIOIVA SUUNNITTELU

Rakennushankkeen hiilijalanjälkeen ja hiilikädenjälkeen voidaan vaikuttaa rakennusmateriaalien valinnoilla, materiaalimenekkiin ja -tehokkuuteen vaikuttavilla suunnitteluratkaisuilla sekä rakenteellisella energiatehokkuudella. Suunnittelijan tehtävänä on suunnitteluratkaisujen kokonaisuoptimointi, jossa huomioidaan materiaalien ja ratkaisujen erilaiset tekniset ominaisuudet rakentamisen koko elinkaarella sekä tilaajan niille asettamat tavoitteet, hiilijalanjälki mukaan lukien. [27]

Kiertotalouden edistämisen kannalta rakennesuunnittelussa eräänä keskeisenä tavoitteena tulisi olla, että mahdollisimman suuri osa suunniteltavan rakennuksen rakenneosista ja materiaaleista voidaan rakennuksen myöhäisemmässä vaiheessa joko uudelleenkäyttää tai kierrättää uusiokäyttöön. Uudelleenkäytettävyyttä edistää, kun rakennukset suunnitellaan helposti osiin purettaviksi siten, että eri rakenneosat ja -materiaalit ovat selkeästi erillään ja toisistaan irrotettavissa sekä lajiteltavissa. Rakennesuunnittelija voi vaikuttaa uudelleenkäyttöön seuraavilla toimenpiteillä [28]:

- rakennejärjestelmän modulaarisuus ja jännemittojen valinta
- rakenneosien valinta (mm. materiaali, säilyvyys, käyttöikä)
- rakenneosien liitosten purettavuuden ja uudelleen liittämisen suunnittelu
- kierrätettävien materiaalien valinta
- pitkän käyttöiän takaava rakennesuunnittelu (mm. joustava muunneltavuus, kestävyys, huollettavuus)

Teräsrakenteissa uudelleenkäytettävyyttä edistää, kun [28]:

- suositetaan ruuviliitoksia
- rakenneosat ja liitokset ovat selkeitä ja yksinkertaisia
- korroosiosuojauks käsittely on sellainen, että se on mahdollista uusida tai korjata

Uudelleenkäytettävät teräsrakenteet suunnittelussa

Suomessa on jonkin verran harjoitettu teräsrakenteiden uudelleenkäyttöä esimerkiksi hallimaisten rakennusten siirroilla paikasta toiseen. Kantavuutta on arvioitu tapauskohtaisesti. Hallirunko ei välttämättä ole suoraan sellaisenaan siirrettävissä, koska paikalliset kuormitusolosuhteet (esim. lumi- ja tuulikuormien osalta) vaihtelevat. Lisäksi ne ovat vaihdelleet ajallisesti rakennusajankohdan ja tuolloin käytössä olleen mitoitusohjeistuksen mukaan. Esimerkiksi käytetty lumikuorman arvo on ollut aiemmissa kansallisissa ohjeissa tyypillisesti alempi kuin eurokoodijärjestelmässä käytettävä lasken-

nallinen lumikuorma. Lisäksi eurokoodijärjestelmässä esimerkiksi rakenteen seuraamusluokka vaikuttaa suoraan kuormiin. Näin ollen kantavuuden arvioinnissa saatetaan esimerkiksi hallimaisen rakennuksen tapauksessa kehävälillä joutua pienentämään. Tällöin myös jäykistysjärjestelmän dimensiot muuttuvat ja asia täytyy tarkastella erikseen.

Edelleen teräsrakenteiden palosuojaustarve tulee tarkastella suunnittelussa erikseen.

MATERIAALIPASSI JA MATERIAALIKIERTOALUSTAT

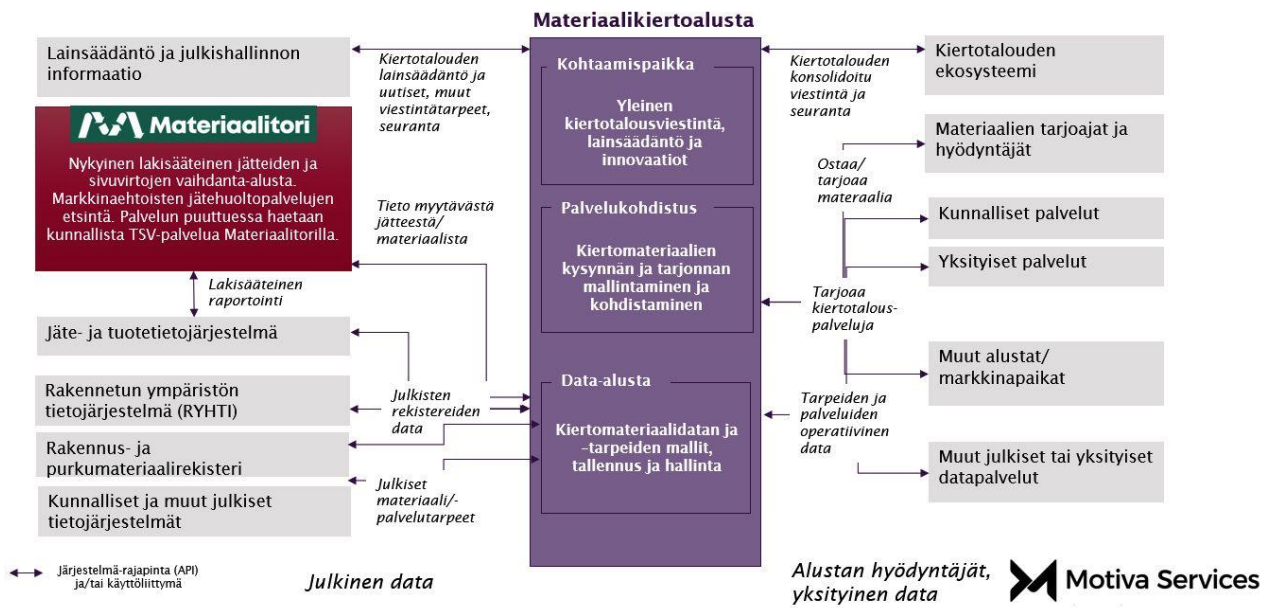
Rakennusmateriaalien kiertotaloudessa ja uudelleenkäytössä keskeisenä haasteena on saada tarjonta ja kysyntä eli uudelleen käytettävät materiaalilähteet ja niiden mahdolliset hyödyntäjät kohtaamaan tehokkaasti. Tieto uudelleen käytettävästä materiaalista ei kulje riittävän hyvin ja ajoissa purkajien ja hyödyntäjien välillä. Tätä tilannetta helpottamaan on kehitteillä erilaisia digitaalisia materiaalitietopankkeja ja materiaalikiertoalustoja. Uusi rakentamislaki (voimaan 1.1.2025) tulee Suomessa velvoittamaan rakennuttajia tekemään materiaaliselosteen sekä purkumateriaali- ja rakennusjätteselvityksen digitaaliseen tietokantaan, mikä tulee helpottamaan sekä purkumateriaalin tilastointia että rakennusmateriaalien kiertotalouden kohtaanto-ongelmaa.

Rakennusten rakennusosatietojen saatavuus materiaaliselosteessa sekä kansallinen purkumateriaalitietokanta mahdollistaisivat rakennuksiin ja rakennettuun ympäristöön liittyvien materiaalivirtojen ohjaamisen ja materiaalien hyödyntämisen myös niiden poistuessa niiden ensisijaisesta käytöstä. Tiedon saatavuus tietokannasta mahdollistaisi erilaiset hyödyntämismahdollisuudet niin materiaalien kierrätyksessä, hyödyntämisessä kuin uudenlaisen liiketoiminnan kehittämisessä ja kiertotaloudessa näiden toimintojen ympärille.

Rakennusten elinkaaren aikaisen tiedon hallintaan tarkoitettu materiaaliseloste tai -passi täydentäisi rakennuksen elinkaarenaikaista tiedonhallintaa dokumentoimalla rakennuksen materiaali-, rakennustuote-, rakennusosa- ja tekniikkaosatieta. Materiaalipassi sisältäisi tiedon kaikista rakennuksessa käytetyistä materiaaleista, niiden määrästä ja alkuperästä sekä mahdollisesti myös yksityiskohtaiset materiaali-, ympäristö- ja elinkaaritiedot tiedot osista ja komponenteista, ehkä myös tiedot niiden ennakoidusta jäännösarvosta. Materiaalipassi voisi osoittaa rakennuksen osien uudelleenkäyttöpotentiaalın ja antaa niille jäännösarvon talteenottoa ja uudelleenkäyttöä varten. [29]

Digitaaliset materiaalikiertoalustat voivat toimia uudelleenkäytettävien rakennusmateriaalien markkinapaikkoina ja edistää markkinoiden syntymistä. Yksittäisiä alustoja ja markkinapaikkoja jo onkin, mutta toimintaedellytysten parantamiseksi tarvitaan niiden välistä tiedonvaihtoa ja vuorovaikutusta. Alustoja yhdistävä ja kokoava kiertotalouden alustaekosysteemi voi tuottaa merkittävää lisäarvoa eri toimijoille. Tällainen kehitteillä oleva data-alusta yhdistää ja tarjoaa materiaaleihin liittyvää tietoa oikea-aikaisesti ja siinä muodossa, että materiaalien käyttö helpottuu (kuva 1). Tieto helpottaa esimerkiksi rakennusten purkusunnittelijoita löytämään materiaaleille hyötykäyttökohteita. [30]

Materiaalikiertoalustan rooli ekosysteemissä



Kuva 1. Materiaalikiertoalustan roolit ekosysteemissä [30].

CASE-ESIMERKKEJÄ TERÄSRAKENTEIDEN UUELLEENKÄYTÖSTÄ SUOMESSA

Rakennusten uudelleenkäyttö on ollut toistaiseksi Suomessa melko vähäistä. Eniten sitä on käytetty hallimaisten rakenteiden kantaville runkorakenteille. Teräsrakenteiset hallit soveltuvat hyvin uudelleenkäytettäväksi. Tyypillisesti hallien runko koostuu teräspilareista ja niihin tukeutuvista hitsatuista teräsristikoidista. Pilareiden kiinnitykset perustuksiin on toteutettu yleisesti pulttiliitoksin samoin kuin ristikoiden kiinnitys pilareihin.

Tampereen Linnainmaalta purettiin vuonna 2007 yksikerroksinen teräsrunkoinen liikerakennus, josta rungon lisäksi myös julkisivut, yläpohja sekä ikkunat ja ovet siirrettiin vastaavaan käyttötarkoitukseen S-Market Urjalaan (kuvat 2 ja 3) [3, 8]. Purettavan rakennuksen runko koostui liittorakenteisista RHS-profiileista sekä pää- ja sekundäärisistä teräsristikoidista. Kattorakenteena olivat ohutlevyteräksiset kantavat profiilit. Nämä kaikki hyödynnettiin uudisrakennuksessa. Teräsrakenteiden purku ehjänä sujui ongelmitta suunnitelman mukaisesti. Pää- ja sekundääristikot oli toteutettu pulttiliitoksilla samoin kuin pilareiden kiinnitys perustuksiin ja kantavien teräsprofiilien kiinnitykset. Rakenteet täyttivät rakentamismääräykset kantavuuden osalta. Palomääräysten muutosten takia teräsrakenteet palosuojamaalattiin ennen asentamista uuteen kohteeseen. Katon kantavat profiilit olivat kuuma-sinkittyä ja katto maalattiin uudessa kohteessa alapuoliselta osaltaan. Rakennushankkeessa saavutettiin noin 10% kustannussäästö verrattuna normaaliin uudisrakentamiseen. [31]



Kuva 2. Runkorakenteiden asennusta uuteen käyttökohteeseen [3].



Kuva 3. S-Market Urjalan valmistunut rakennus [31].

Helsingin Hernesaaresta purettiin vuosina 2018-2019 suuri Wärtsilän telakkahallina toiminut Merihalli-niminen teräsrunkoinen rakennuskokonaisuus, josta uudelleenkäyttöön siirtyi runsaasti runkorakenteita, teräspalkistoa, nostureita, nosturiratoja ja sähkötekniikkaa [32]. Kestobetoni Oy löysi Lahteen suunniteltuun betonielementtitehtaan laajennushankkeeseen Merihallista teräsrunгон pilarit, palkit, kattotuolit, nosturiradat ja viisi siltanosturia, joihin uusittiin koneistot. Laajennus-

hankkeessa säästettiin satoja tuhansia euroja hyödyntämällä uudelleenkäytettäviä rakenteita. Merihallin rakenteiden pinta-alasta Kestobetonille meni noin neljännes. Loput rakennelman halli-alueet jakautuivat useaan osaan eri käyttäjälle Suomessa. Runkorakenteista lähes kaikille löytyi uusi käyttökohde sellaisenaan ja kaikesta runkorakenteesta uudelleenkäyttöön meni yli 85% [33].

Lamminpään aluehanke Tampereella palkittiin Vuoden Purkuhankkeena 2022. Alueelta purettiin yhteensä 15 kiinteistöä, joista suurin osa oli teollisuuskiinteistöjä. Purkukohteissa pyrittiin mahdollisimman paljon toteuttamaan ehjänä purkua ja rakenneosien uudelleenkäyttöä; kantaville teräs-rakenteille löydettiin uudet käyttökohdet rakennettaviin teollisuushalleihin (esimerkki kuvassa 4). Hankkeessa kehitettiin rakennusten ja rakennusosien digitaalisen materiaalipassin edellyttämiä työkaluja ja prosesseja sekä tuotettiin myös lisätietoa uusien rakennusten suunnitteluun ja alkuperäisten rakennusosien jäljitettävyyteen. Osalle Lamminpäässä puretuista halleista luotiin digitaaliset 3D-tietomallit uudelleenkäyttöä varten. Rakenneseisiin liitettiin myös RFID-tagit, joihin liitettiin tietoa kustakin purettavasta rakennusosasta ja joiden sisältämä tieto vietiin digitaaliseen materiaali-datapankkiin uudelleenkäyttöä silmällä pitäen. Datapankin tiedot ovat arkkitehtien ja suunnittelijoiden käytettävissä ja sen avulla voidaan purkaa uudelleenkäytön esteitä; monet arkkitehdit pelkäävät hyödyntää käytettyjä osia, koska ei ole tietoa siitä, missä kunnossa osat ovat ja missä niitä on käytetty. Digitaalinen materiaalipassi lisää uudelleenkäyttömahdollisuuksia selvästi. [34].



Kuva 4. Runkorakenteiden asennusta uuteen käyttökohteeseen [34].

LÄHDELUETTELO

1. Handbok MVR BS04:2021 - Återbruk av stål i bärande konstruktioner. Mekaniska Verkstädernas Riksförbund, 2021.
2. Brown, D.G., Pimentel, R.J. and Sansom, M.R., Structural Steel Reuse - Assessment, testing and design principles. SCI (the Steel Construction Institute), 2019, ISBN: 978-1-85942-243-4.
3. Girão Coelho, A.M., Pimentel, R., Ungureanu, V., Hradil, P. and Kesti, J., European recommendations for reuse of steel products in single-storey buildings, Design guide prepared as a result of PROGRESS (Provisions for greater use of steel structures) research project, 1st edition, 2020, ECCS – European Convention for Constructional Steelwork, ISBN: 978-92-9147-170-6, https://www.steelconstruct.com/wp-content/uploads/PROGRESS_Design_guide_final-version.pdf
4. Rakennusmateriaalien uudelleenkäyttö, kierrätys ja jätehuolto, https://www.ymparisto.fi/fi-rakentaminen/korjaustieto/rakennusmateriaalien_tietopankki/uudelleenkaytto_kierratys_ja_jatehuolto
5. Ying Zhu ja Katja Tähtinen, Rakennusosien uudelleenkäytön edellytykset Suomessa, Policy brief 2022/20, Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminta, julkaistu 21.6.2022. <https://tietokayttoon.fi/julkaisu?pubid=41601>
6. Rakennustuoteasetus (Construction products regulation), Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EU) No 305/2011 rakennustuotteiden kaupan pitämistä koskevien ehtojen yhdenmukaistamisesta ja neuvoston direktiivin 89/106/ETY kumoamisesta, annettu 9.3. 2011.
7. SFS-EN 1090-2, Teräs- ja alumiinirakenteiden toteutus. Osa 2: Teräsrakenteiden tekniset vaatimukset.
8. Standardisarja SFS-EN 10025, Kuumavalssatut rakenneteräkset, osat 1-6.
9. Ying Zhu, Harriet Lonka, Katja Tähtinen, Markku Anttonen, Päivi Isokääntä, Anssi Knuutila, Jukka Lahdensivu, Selma Mahiout, Anne-Marie Mäntylä, Markku Raimovaara, Tiina Rantio, Tiina Santonen ja Tuuli Teittinen, PURATER-hankkeen loppuraportti: Purkumateriaalien kelpoisuus eri käyttökohteisiin turvallisuuden ja terveellisyyden näkökulmasta. Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminta, julkaisu 2022:15. https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/163832/VN_Teas_2022_15.pdf
10. SFS-EN ISO 6892-1, Metallien vetokoe. Osa 1: Vetokoe huoneenlämpötilassa.
11. SFS-EN ISO 18265, Metallien kovuusarvojen muuntaminen.
12. SFS-EN 10219-1, Kylmämuovautut hitsatut seostamattomista teräksistä ja hienoraeteräksistä valmistetut rakenneputket. Osa 1: Tekniset toimitusehdot. ja SFS-EN 10219-2, Kylmämuovautut hitsatut seostamattomista teräksistä ja hienoraeteräksistä valmistetut rakenneputket. Osa 2: Toleranssit, mitat ja poikkileikkaussuureet.
13. SFS-EN 10210-1, Kuumamuovautut seostamattomista teräksistä ja hienoraeteräksistä valmistetut rakenneputket. Osa 1: Tekniset toimitusehdot. ja SFS-EN 10210-2, Kuumamuovautut seostamattomista teräksistä ja hienoraeteräksistä valmistetut rakenneputket. Osa 2: Toleranssit, mitat ja poikkileikkaussuureet.
14. DIN 50159, Metallic materials - Hardness testing with the UCI method.
15. DIN 50157, Metallic materials - Hardness testing with portable measuring devices operating with mechanical penetration depth.
16. ASTM A1038-17, Standard Test Method for Portable Hardness Testing by the Ultrasonic Contact Impedance Method.
17. CEN/TR 10261, Iron and steel. European standards for the determination of chemical composition.
18. CEN/CR 10320, Optical emission analysis of low alloy steels (routine method) - Method for determination of C, Si, S, P, Mn, Cr, Ni and Cu.
19. SFS-EN ISO 1461, Valurauta- ja teräskappaleiden kuumasinkkipinnoitteet. Spesifikaatiot ja testausmenetelmät.

20. SFS-EN 1993-1-1, Eurokoodi 3: Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-1: Yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt.
21. SFS-EN 1993-1-8, Eurokoodi 3: Teräsrakenteiden suunnittelu. Osa 1-8: Liitosten suunnittelu.
22. Rakennustuotteiden uudelleenkäyttö on Suomessa mahdollista rakennuspaikkakohtaista varmentamista käyttäen, Ympäristöministeriön tiedote 21.6.2022, <https://ym.fi/-/rakennustuotteiden-uudelleenkayttö-on-suomessa-mahdollista-rakennuspaikkakohtaista-varmentamista-kayttaen>
23. Rakennusmateriaalien uudelleenkäyttö; kelpoisuuden osoittaminen, REUSE-hanke, Kouvola Innovation Oy ja Ytekki Oy. https://puutuoteteollisuus.fi/images/puufaktaa/ymparisto-kiertotalous-yms/Raportti_Rakennusmateriaalien%20uudelleen%C3%A4ytt%C3%B6_REUSE%20Kinno_Ytekki%20Oy.pdf
24. Rakennustuotteiden kansalliset hyväksyntämenettelyt, <https://ym.fi/rakennustuotteiden-kansalliset-hyvaksyntamenettelyt>
25. Laki eräiden rakennustuotteiden tuotehyväksynnästä (954/2012), <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2012/20120954>
26. Erkki Hassinen, Rakennustuotteiden uudelleenkäyttö - sittenkin mahdollista!, Rakennustarkastusyhdistys. <https://www.rakennustarkastusyhdistys.fi/rakennustuotteiden-uudelleenkayttö-sittenkin-mahdollista/>
27. A-Insinöörit Oy: Rakennesuunnittelijan pikaopas vähähiiliseen rakentamiseen, BuildingLife, 2022. https://www.ains.fi/opaat/buildinglife-pikaopaat-vahahiiliseen-rakentamiseen?utm_content=228999254&utm_medium=social&utm_source=linkedin&hss_channel=lcp-79435
28. RIL 216-2013, Rakenteiden ja rakennusten elinkaaren hallinta. Suomen Rakennusinsinöörien Liitto RIL ry, 2013, ISBN: 978-951-758-556-9
29. Juho Lahtinen, diplomityö, Aalto-yliopisto, 2021: Materiaalipassi rakennuksen elinkaaren tiedon hallinnassa. https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/110517/master_Lahtinen_Juho_2021.pdf;jsessionid=4928217ECD93C140C643A7B97BF6AD2C?sequence=1
30. https://www.motiva.fi/ratkaisut/materiaalitehokkuus/materiaalikiertojen_data-alusta_ja_ekosysteemi
31. S-Market Urjala - kiertotaloutta puhtaimmillaan!, <https://www.terasrakenneyhdistys.fi/fin/blogit/blogikirjoitukset-2021/23-4-kiertotaloutta-puhtaimmillaan/>
32. <https://www.purkupiha.fi/2022/01/11/rakennusosien-uudelleenkayttö/>
33. <https://newspool.fi/artikkelit/hallirakenteet-tehokkaasti-uusiokayttoon/>
34. <https://fda.fi/purkualan-parhaat-lamminpaan-aluehankkeessa-kehitettiin-rakennusosien-uudelleenkayttöa/>

Teräsrakenteiden uudelleenkäyttö

